



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
DURANGO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL
VALLE DEL GUADIANA**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**“Viabilidad técnico-económica de un invernadero pasivo
como secador solar de productos hortícolas
Caso de estudio: “cultivo de cebolla””**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería

Presenta:

ING. LAURA ALICIA CASTILLO MATA

Director de tesis:

DRA. CARMEN ZULEMA QUIÑONES PÉREZ

Co-Director:

M.C. OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA

Durango, Dgo., México, noviembre, 2024.

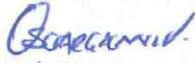
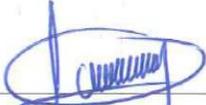


**” Viabilidad técnico-económica de un invernadero pasivo como secador solar de productos hortícolas
Caso de estudio: “cultivo de cebolla””**

Presenta:

ING. LAURA ALICIA CASTILLO MATA

COMITÉ TUTORIAL

<p>DRA. CARMEN ZULEMA QUIÑONES PÉREZ</p> <hr/> <p>Director</p>	 <hr/> <p>Firma</p>
<p>M.C. OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA</p> <hr/> <p>Codirector</p>	 <hr/> <p>Firma</p>
<p>DRA. IXCHEL ABBY ORTIZ SÁNCHEZ</p> <hr/> <p>Asesor</p>	 <hr/> <p>Firma</p>

M.C. Norma Alicia García Vidaña



Coordinadora del programa de la Maestría en Ingeniería.

Dr. Francisco Javier Godínez García



Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

Durango, Dgo. México

NOVIEMBRE de 2024



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a 26 / Noviembre / 2024.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 587 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. LAURA ALICIA CASTILLO MATA
No. DE CONTROL M21790132
PRESENTE.

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestría en Ingeniería** cuyo título es:

**“Viabilidad técnico-económica de un invernadero pasivo como secador solar de productos hortícolas
“Caso de estudio cultivo de cebolla”**

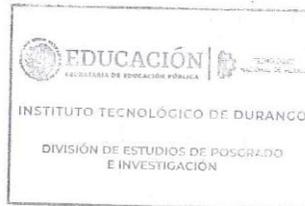
CONTENIDO:

- RESUMEN
- CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN
- CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO
- CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS
- CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
“La Técnica al Servicio de la Patria”


C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



FJGG'ammc.



2024
**Felipe Carrillo
PUERTO**
MANIFIESTA SU ESTUDIOS
PROGRESISMO Y JUSTICIA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a 25 / Noviembre / 2024.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 588 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. LAURA ALICIA CASTILLO MATA
No. DE CONTROL M21790132
PRESENTE.

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Ingeniería**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

**“Viabilidad técnico-económica de un invernadero pasivo como secador solar de productos hortícolas
“Caso de estudio cultivo de cebolla”**

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
“La Técnica al Servicio de la Patria”

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



FJGG'ammc.





AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por el apoyo económico durante dos años, el cual me permitió realizar mis estudios de Maestría, enfocándome en desarrollar mi proyecto de investigación.

Agradezco a Dios por permitirme iniciar y concluir la Maestría en Ingeniería.

A mi Directora de tesis la Dra. Carmen Zulema Quiñones Pérez por el apoyo brindado en todo este tiempo para lograr la culminación de este proyecto.

Al M.C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva agradezco por la confianza, el apoyo y por todos los conocimientos brindado durante todo este periodo.

Agradezco todo el apoyo y dedicación brindada por la Dra. Ixchel Abby Ortiz Sánchez ya que sin sus consejos y ayuda hubiera sido imposible lograr la culminación de esta etapa. Agradezco la amistad que se dio dentro y fuera de las aulas.

A la M.C. Felicidad Pérez Saldaña agradezco todo el apoyo, tiempo y conocimientos transmitidos para lograr un análisis estadístico, así mismo la ayuda ante situaciones complicadas presentadas durante la estancia en la Institución.



RESUMEN

Los invernaderos solares pasivos utilizan el sol como fuente de energía renovable, utilizando el flujo de calor en contacto con la superficie que contiene el producto a deshidratar, mientras que los invernaderos tradicionales se basan principalmente en los sistemas de gas, propano o calefacción eléctrica. Se determinó la viabilidad de un invernadero pasivo analizando la temperatura en función a la radiación solar recibida durante los días de secado, de igual manera se monitoreó el comportamiento de la humedad interna y su relación directa con las características organolépticas del producto a secar. Se utilizó un invernadero pasivo de 8 x 15 metros ubicado en el área de invernaderos, del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Guadiana, en conjunto con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y mediante los dispositivos Data Logger RC-4HC y Múltiple Función T-RH se monitorearon y los datos de las variables de temperatura y humedad, los cuales influyen directamente en el proceso de secado del cultivo de cebolla.

El tiempo de deshidratado varió debido al comportamiento de las variables puesto que no son controlables dentro del invernadero y entre mayor es la humedad mayor el tiempo que tarda para deshidratarse el cultivo de cebolla.

Palabras clave:

deshidratador, invernadero, solar.



ABSTRACT

Passive solar greenhouses use the sun as a renewable energy source, using the heat flow in contact with the surface that contains the product to be dehydrated, while traditional greenhouses are mainly based on gas, propane or electric heating systems. The viability of a passive greenhouse was determined by analyzing the temperature based on the solar radiation received during the drying days, in the same way the behavior of the internal humidity and its direct relationship with the organoleptic characteristics of the product to be dried was monitored. An 8 x 15-meter passive greenhouse located in the greenhouse area of the Tecnológico Nacional de México Valle del Guadiana campus was used, in conjunction with the Center for Research in Advanced Materials (CIMAV) and using Data Logger RC-4HC devices. and Multiple Function T-RH and the data of the temperature and humidity variables were monitored, which directly influence the drying process of the onion crop.

The dehydration time varied due to the behavior of the variables since they are not controllable within the greenhouse and the higher the humidity, the longer the time it takes for the onion crop to dehydrate.

Keywords

Dehydrator, greenhouse, solar.



DEDICATORIA

El presente logro es para mis padres el Sr. Ramón Castillo Castañeda y la Sra. Alicia Mata Ramírez, por apoyarme en todos mis proyectos a lo largo de mi vida, por confiar en mí, por impulsarme a seguir adelante, son parte de mi motor para continuar creciendo a lo largo de la vida.

Dedico también este logro a la persona que me motivo a ingresar a la Maestría, a quien es parte primordial de mi vida personal y profesional, a quien me acompaña siempre y en todo momento, a mi Hermano Luis Ramón Castillo Mata.

También dedico este logro a mis hermanas Ma. Guadalupe Castillo Mata y Martha Cecilia Castillo Mata porque ser parte de cada uno de mis triunfos.

A toda mi familia que me ha acompañado siempre superando superar juntos los momentos complicados que se nos presentan en la vida y por celebrar los logros.

De igual manera, deseo dedicar este logro a la Dra. Esmeralda Lechuga Rocha, quien me inspiró y me brindó un acompañamiento especial a lo largo de este proceso. Su apoyo ha sido fundamental en mi camino académico y personal.

Y finalmente a los que ya no están, pero siempre permanecerán en mi corazón y sé que cada uno de mis triunfos los celebran junto conmigo, a mi Ama Manuela y a Isabel.



TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
HIPÓTESIS	15
Hipótesis alterna	15
Hipótesis nula	15
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Métodos de deshidratación	18
2.3. Deshidratado de productos agrícolas.....	20
2.4. Cultivo de cebolla.....	22
CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Descripción del área de estudio	24
3.2. Variables y Monitoreo	25
3.3. Análisis estadístico.....	28
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS.....	44



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Invernadero pasivo	24
Figura 2. Múltiple Función T-RH.....	25
Figura 3. Data Logger RC-4HC.	25
Figura 4. Comportamiento de las variables de humedad y temperatura.	30
Figura 5. Comportamiento de la temperatura.	30
Figura 6. Comportamiento de la humedad.	31
Figura 7. Temperatura y humedad de los meses de julio-agosto.	32
Figura 8. Relación inversa entre humedad y temperatura.	32
Figura 9. Temperatura del mes de mayo 2022.....	33
Figura 10. Humedad del mes de mayo 2022.....	34
Figura 11. Temperatura del mes de junio 2022.	34
Figura 12. Humedad del mes de junio 2022.	34
Figura 13. Temperatura y humedad abril 2023.....	35
Figura 14. Temperatura y humedad mayo 2023.....	35
Figura 15. Historial de temperatura	36
Figura 16. Historial de humedad.....	36
Figura 17. Historial de temperatura en los meses de abril, mayo, junio y julio	37
Figura 18. Análisis bromatológico.....	38



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Invernaderos en el Estado de Durango.	18
Cuadro 2. Tipos de deshidratadores solares.	19
Cuadro 3. Ventajas y desventajas del secador solar.	23
Cuadro 4. Registro de valores máximos y mínimos de temperatura y humedad..	29
Cuadro 5. Costos de equipos.	38



CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La deshidratación es un proceso que se utiliza desde la antigüedad para conservar los alimentos, alarga su vida en anaquel, manteniendo sus propiedades organolépticas y facilitando su manejo y almacenaje (Tecnologías apropiadas para la transformación agropecuaria, 2017). Uno de los procesos de deshidratación es por medio de energía solar, este se caracteriza principalmente por convertir esta energía en calor mediante procesos de transferencia, y así poder generar la remoción de humedad en determinado producto. Principalmente se conocen dos tipos de deshidratadores solares pasivos y activos.

Los deshidratadores pasivos son aquellos que trabajan utilizando solamente fuentes de energía renovables principalmente la solar y eólica, que a su vez puede ser de tipo distribuido o indirectos pasivos, estos están conformados por un colector que calienta el aire utilizando la energía solar, así mismo cuenta con una chimenea y una cámara de secado, de tipo integral o directos pasivos, tiene a sus costados una cámara aislada pintada de negro, cuenta con un techo de cristal para alcanzar elevadas temperaturas que van de los 70-100 °C y de tipo mixto que es una mezcla de la de tipo distribuido e integral para efectuar la deshidratación.

Los deshidratadores activos se clasifican igual que los pasivos solo que estos requieren aparte de energías renovables también no renovables, esto para que auxilien y aumenten al flujo de aire caliente mediante equipo de ventilación en el interior del deshidratador, de igual manera estos pueden ser de tipo distributivo está compuesto por un captador solar, una cámara de secado, conductores y



ventiladores que auxilian el flujo del aire, de tipo integral: son a gran escala, tipo invernadero con techo transparente y un colector dentro de las paredes de la cámara de deshidratado y de tipo mixto que tiene el techo y las paredes de cristal, cuenta con una cámara de secado, un ventilador y conductor. Las paredes de cristal permiten el control y manejo de las temperaturas al interior del deshidratador. (Fuentes, 2019).

Una problemática o desventaja que presentan los deshidratadores pasivos es que realizan el proceso de deshidratado más lento de lo normal y se encuentra limitado por el clima. (Rodríguez y Bohórquez, 2016).

Una alternativa en estos deshidratadores es incluir un almacenamiento térmico, para que las horas de trabajo sean mayores a los utilizados hoy en día.

Este método de deshidratación se puede aplicar en cualquier fruta u hortaliza. Por lo general se realiza la deshidratación a las frutas u hortalizas que tienen una corta vida útil o los excedentes de producción primaria (Michelis y Ohaco, 2017).

Este estudio se enfoca a la cebolla (*Allium cepa*), que es un cultivo típicamente de invierno y se adapta en algunas regiones semidesérticas. En todo el mundo se producen 93'226,400 toneladas de cebolla por año (Food and Agriculture Organization (FAO), 2022). México produce 1,635,049 toneladas anuales de las cuales Durango aporta 6,308 toneladas (SIAP, 2022).

Por lo anterior, el proyecto a desarrollar tiene como objetivo establecer la Viabilidad técnico-económica de un invernadero pasivo como secador solar para el cultivo de cebolla.



OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnico-económica de un invernadero pasivo como secador solar de productos hortícolas.

Objetivos Específicos

- Evaluar los grados brix del cultivo de cebolla.
- Optimizar los tiempos para la pérdida de humedad del cultivo de cebolla.
- Determinar el tiempo óptimo de deshidratación de hortalizas de interés económico como la cebolla.



HIPÓTESIS

Hipótesis alterna

Ha₁: El uso del secador solar en un invernadero pasivo es efectivo en un 100% en la pérdida de humedad del cultivo de cebolla.

Ha₂: El tamaño de la cebolla, influye en la determinación del tiempo óptimo de deshidratación del cultivo.

Hipótesis nula

Ho₁: El uso del secador solar en un invernadero pasivo no es efectivo en un 100% en la pérdida de humedad del cultivo de cebolla.

Ho₂: El tamaño de la cebolla, no influye en la determinación del tiempo óptimo de deshidratación del cultivo.



CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El método de secado solar se investigó para tener una alternativa para la modificación de los productos alimenticios debido a que, al momento de recolectar la cosecha, existe una inestabilidad económica en el establecimiento de precios que regulen la comercialización y esto afecta considerablemente al productor ya que en ocasiones los costos de producción son superan al precio que se establece en el mercado.

La deshidratación solar es una alternativa para el productor ya que este proceso logra la conservación del producto sin alterar sus propiedades fisicoquímicas y es costeable aplicación. Existe un incremento considerable en la ingeniería agrícola ya que su desarrollo de la tecnología y la investigación de alimentos va incrementándose y mejorando los procesos de deshidratación solar (Bejarano Martínez Carlos Alberto, 2018).

El secado o deshidratado es un proceso de impacto en la conservación de alimentos, puesto que el porcentaje de humedad es una de las variables más importantes para determinar si el producto agrícola está en riesgo de deteriorarse y tiene una vida útil corta. (Méndez Recinos, 2017).



En el estudio realizado por Nevárez y Cuzmez (2016) el objetivo principal de la investigación fue determinar el tiempo de deshidratación mediante el proceso de deshidrocongelación, así como la temperatura optima de congelación, enfocados en el cultivo de la cebolla perla (*Allium cepa*) en polvo. Obteniendo como resultado que el tiempo óptimo de deshidrocongelación para obtener polvo de cebolla (*Allium cepa*) es de ocho horas; tiempo mediante el cual se tuvo una variación en las variables estudiadas.

A: Los tiempos de deshidrocongelación que se estudiaron fueron de (8, 12 y 16 horas). La temperatura de congelación fue de (-20, -40 y -60°C).

B: Las variables que se evaluaron a los diferentes tratamientos fueron el análisis organoléptico (color, olor y textura) las siguientes: propiedades físicas (cenizas y humedad), al tratamiento con los mejores resultados se le evaluaron también las variables levaduras, granulometría y mohos. Mediante ese análisis se determinó el tiempo óptimo de deshidrocongelación para la obtención polvo de cebolla (*Allium cepa*) (CUZME PINARGOTE & NEVÁREZ LOOR, 2016).



El estado de Durango cuenta con 303 invernaderos distribuidos como se muestra en el Cuadro 1, de los cuales entre el 55-60 % se encuentran inactivos.

Cuadro 1. Invernaderos en el Estado de Durango.

Municipio	No. total de invernaderos	Municipio	No. total de invernaderos
Canatlán	11	Pueblo Nuevo	3
Coneto de Comonfort	1	Santiago Papasquiaro	12
Cuencamé	10	Súchil	1
Durango	141	Vicente Guerrero	6
Guadalupe Victoria	3	Gómez Palacio	2
Mezquital	9	Vicente Guerrero	6
Nombre de Dios	47	Gómez Palacio	2
Nuevo Ideal	7	Lerdo	1
Pánuco de Coronado	3	Bermejillo	1
Peñón Blanco	1	Tlahualilo	20
Poanas	24	Total	303

(SIAP, 2022)

2.2. Métodos de deshidratación

El proceso de secado solar para la micro - industria representa un desarrollo económico y una alternativa renovable para los pequeños productores.

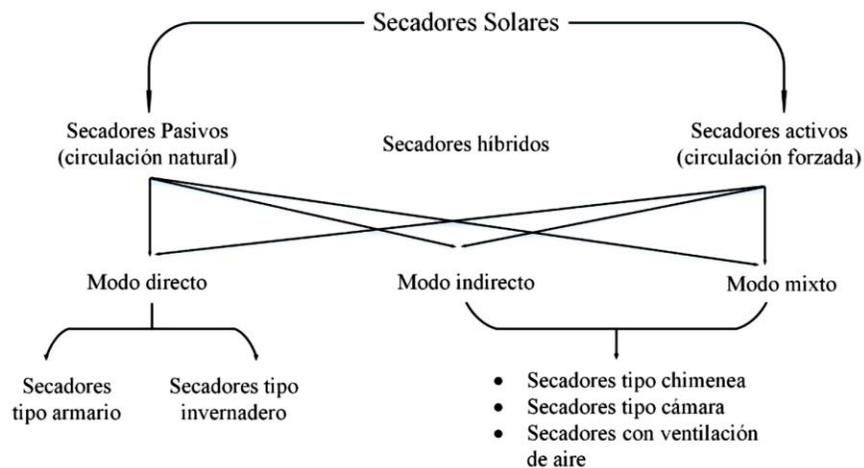


Los secadores pasivos solo utilizan fuentes de energías renovables principalmente la solar y eólica Cuadro 2.

Así mismo los secadores activos requieren energías no renovables para que auxilien a las renovables, incrementando mediante equipo de ventilación el flujo de aire caliente en el interior del invernadero o deshidratador. (Fuentes, 2019).

Cuadro 2. Tipos de deshidratadores solares.

PASIVOS	ACTIVOS
Son aquellos en los que el aire caliente se desplaza por el deshidratador por efecto del peso del fluido.	Son en los que se utiliza equipo electrónico y de ventilación para desplazar el aire a mayor velocidad en la zona de deshidratado.
Se clasifican en: pasivos de tipo distribuido, pasivo de tipo integral y pasivo de tipo mixto.	Se clasifican en: activos de tipo distribuido, activos de tipo integral y activos de tipo mixto.





La deshidratación por convección es una técnica de transferencia de calor, donde el calor se transfiere a través de un flujo de gas que circula sobre el producto hortícola que se desea deshidratar. Esto permite que la humedad se evapore y sea eliminada durante el proceso de secado. Los gases más comunes empleados en este método son el aire, el vapor sobrecalentado, gases inertes y gases resultantes de la combustión (Fuentes, 2019).

Los secadores de contacto, o por conducción, son aquellos que transfieren calor mediante este proceso, lo que implica que el producto a deshidratar debe estar en contacto con una superficie caliente. La eficiencia de la transferencia de calor depende de este contacto, lo que a su vez influye en la velocidad del secado.

Los deshidratadores por radiación son poco comunes debido a sus elevados costos operativos, ya que su principal fuente de energía es la radiación electromagnética. Esta radiación tiene longitudes de onda que son absorbidas por las moléculas de agua del producto, permitiendo así la transferencia de calor que elimina la humedad (Fuentes, 2019).

2.3. Deshidratado de productos agrícolas

El proceso de secado solar para productos hortícolas depende de los factores ambientales específicos de cada región donde se lleva a cabo la deshidratación, sin



olvidar las características y propiedades organolépticas del producto (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013).

El secado de hortalizas de Gascón (2013) se ejemplifica y presenta en tres modelos como lo son: bulbos (ajo y cebolla), raíces y tubérculos (zanahoria) y hojas (espinacas).

Secado de Bulbos:

En los bulbos, la sensibilidad al calor es considerable, por lo que se recomienda no exceder los 65-70 °C al comienzo del proceso de deshidratación. En la etapa final, cuando la humedad llega al 10-12%, se aconseja mantener una temperatura de 55-60 °C.

Cebolla:

Para alcanzar un 10-12% de humedad, se expone el producto a una temperatura de 65 °C, lo que ayuda a preservar sus características organolépticas. Dado que el secado se realiza en hornos industriales, el tiempo se reduce a 60 minutos, teniendo en cuenta la homogeneidad entre superficie y volumen. La deshidratación completa se logra al llegar a un 5.5% de humedad, y para obtener un kilogramo del producto deshidratado, se requieren nueve kilos de bulbos.

Ajo:

El proceso de deshidratación se realiza a una temperatura de 75 °C en el material fresco hasta alcanzar un 15% de humedad. Luego, se continúa con temperaturas de 65 °C para finalizar el proceso, logrando una humedad del 4%. Para obtener un



kilogramo de ajo deshidratado, se necesitan tres kilos del producto fresco (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013).

Secado de raíces y tubérculos:

Zanahoria:

El secado de esta hortaliza comienza a una temperatura de 75-80 °C hasta reducir la humedad al 15%. Luego, para completar el proceso de deshidratación y alcanzar un 4% de humedad, se emplea una temperatura de 50 °C. Al utilizar diez kilos de raíces, se obtiene un kilo de materia deshidratada (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013).

Secado de Hojas:

Espinaca:

Para llevar a cabo la deshidratación del producto hasta alcanzar un 15% de humedad, se requiere una temperatura de 65 °C durante dos horas. Después de este tiempo, la temperatura se reduce a 55 °C hasta lograr una humedad final del 5.5%. Por cada 15 kilos de hoja fresca, se produce un kilogramo de materia deshidratada (Gascón, Muravnick, & Andreuccetti, 2013).

2.4. Cultivo de cebolla

Allium cepa L., comúnmente llamada cebolla, es una planta herbácea bienal que pertenece a la familia de las amarilidáceas. Tiene un sistema radicular compuesto



por numerosas raíces finas y blanquecinas, que son poco profundas y emergen de un tallo con forma de disco, conocido como disco caulinar.

La cebolla debe tener la menor cantidad de agua posible para optimizar el proceso de deshidratación. Además, sus propiedades organolépticas deben ser de alta calidad, ya que varios de sus compuestos, que son volátiles, se pierden durante el secado (Ibérica, 2019)

La cebolla deshidratada es un producto muy valioso en la industria alimentaria, ya que mantiene su aroma, sabor y diversas características.

El secador solar nos ofrece una estrategia para conservar alimentos durante un período más prolongado. Su función principal es exponerlos al sol para que se sequen, lo que provoca un proceso de deshidratación Cuadro 3.

Cuadro 3. Ventajas y desventajas del secador solar.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • El utilizar el sol como fuente de energía es más económico y eco amigable. • No produce olores. • El producto generado es de mayor calidad. • Las hortalizas no se exponen a factores ambientales que la pudieran contaminar. • Se transportan de forma más fácil los productos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede tener control sobre la energía solar. • El proceso es lento derivado a que no se alcanzan las temperaturas máximas para el deshidratado. • El contacto directo del producto con la luz solar puede dañarlo.



CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

Este proyecto se realizó en el área de invernaderos, del Tecnológico Nacional de México campus Valle del Guadiana, ubicado en la carretera a México Km. 22.5 en el Ejido Villa Montemorelos, Durango, Dgo., en colaboración con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), ubicado en Calle CIMAV #110, Ejido Arroyo Seco, Durango, Dgo., y con la empresa ALDAJUCE S.P.R. DE R.I. ubicada en Villa Unión, Poanas, Dgo.

Se rehabilitó un invernadero de 8 x 15 metros para convertirlo en deshidratador pasivo, utilizando toda su estructura quedando funcional, así mismo se empleó un equipo Data Logger RC-4HC para el monitoreo y medición de las variables de temperatura y humedad, dicho equipo almacena 16,000 registros con intervalos de medición que van desde los 5 segundos hasta las 24 horas, de la misma manera se instaló un Múltiple Función T-RH para complementar el monitoreo.



Figura 1. Invernadero pasivo



Figura 3. Data Logger RC-4HC.



Figura 2. Múltiple Función T-RH.

3.2. Variables y Monitoreo

Las variables que fueron monitoreadas y registradas en esta investigación fueron:

- Humedad
- Temperatura
- Presión atmosférica
- Tiempo
- Grados brix
- Nivel de proteína y fibra (análisis bromatológico)

El proyecto se desarrolló en un invernadero pasivo, empleando los equipos Data Logger RC-4HC y Múltiple Función T-RH para el monitoreo de las variables de temperatura, humedad y presión atmosférica los cuales se programaron para registrar y almacenar la lectura de los datos en un rango de 60 minutos, mostrando de forma gráfica la relación significativa que tiene la humedad con la temperatura, puesto que entre mayor es la temperatura menor es la humedad, teniendo como



resultado que los niveles más altos de temperatura se dan alrededor de las 15:00 h. y los valores más altos de humedad son alrededor de las 04:00 h.

Para la medición de las variables tiempo, grados brix y el análisis bromatológico se prepararon tres charolas de aluminio con papel encerado y rodajas de cebolla homogéneas (C1, C2 y C3) colocándolas en tres puntos diferentes del invernadero: la C1 se colocó a la entrada del invernadero donde se encuentra mayor flujo de aire, la C2 en el centro donde se concentra mayor cantidad de calor y la C3 al final del invernadero, esto se realizó para ver el comportamiento de dicho producto ante los diferentes registros de temperatura y humedad, determinando así el tiempo que tarda la cebolla en perder la humedad y quedar deshidratada, observando que la C1 fue la primera en presentar muestras de deshidratación ya que el flujo de aire caliente ocasiono que tuviera una mayor pérdida de humedad, en la C2 se visualizó que aunque existía mayor concentración de calor al centro del invernadero los incrementos de humedad retrasaron un día más su deshidratación al igual que en la C3, por lo cual las charolas C2 y C3 tardaron seis días en quedar deshidratadas, mientras que la C1 se deshidrato en cinco días, cabe hacer mención que las tres muestras estaban sarazas en el transcurso de la mañana esto debido a la humedad que acumulaban por la noche.

Los grados brix se midieron utilizando un refractómetro manual colocando en él una gota de jugo de la cebolla y visualizando los resultados siendo este 6 ° brix en el cultivo de la cebolla.



Una vez deshidratado el producto se recolectaron las muestras y se le realizó un análisis bromatológico en el Laboratorio de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

Se analizó el costo de un deshidratador industrial, ya que este puede fluctuar notablemente en función de su capacidad, características y marca. Para aquellos que manejan grandes volúmenes de productos a deshidratar, los modelos suelen ser más complejos, ya que cuentan con controles avanzados de temperatura y humedad, con precios que oscilan entre 120,000 y 190,000 pesos.

Además, el costo de construir un invernadero con las mismas dimensiones que nuestra área de trabajo puede variar considerablemente según varios aspectos, como el tipo de estructura (acero galvanizado, PVC o madera), los materiales empleados (polietileno, vidrio o policarbonato) y las características adicionales (ventilación y calefacción). En resumen, el precio de un invernadero puede situarse entre 250,000 y 285,000 pesos, dependiendo de las especificaciones elegidas.

Por último, la rehabilitación de la cubierta de un invernadero de polietileno cuesta entre 9,000 y 10,000 pesos. La compra de un ventilador de circulación tiene un precio que va de 8,500 a 10,000 pesos, mientras que un extractor de aire puede costar entre 10,000 y 12,000 pesos, dependiendo de sus características específicas. En cuanto a las charolas para deshidratar, su precio varía según el material, el tamaño y la cantidad adquirida; generalmente, las charolas de acero inoxidable son las más recomendables y tienen un costo aproximado de 190 pesos.



3.3. Análisis estadístico

Mediante el programa RStudio se analizó las variables generadas por el Data Logger RC-4HC y el Múltiple Función T-RH, demostrando que existe una relación significativa entre la temperatura y la humedad relativa.

El proyecto se desarrolló siguiendo la NORMA Oficial Mexicana NOM-044-FITO-1995 que tiene por objeto establecer los requisitos fitosanitarios para la importación de productos vegetales procesados, deshidratados o secos para evitar la introducción de plagas cuarentenarias.

Las disposiciones de esta Norma son aplicables a los productos y subproductos vegetales, así como a los materiales de embalaje o empaque de los mismos ya que deben cumplir con los requisitos fitosanitarios por especie y país de origen establecidos.



CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al examinar los datos registrados en el Data Logger RC-4HC para cada una de las variables a evaluar, se determinaron los valores máximos, mínimos y el promedio de la humedad y la temperatura, correspondientes a un período de un año, tal como se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Registro de valores máximos y mínimos de temperatura y humedad.

Monitoreo de variables			
Máximo (Temperatura)	51.6 °C	Máximo (Humedad)	100.00%
Mínimo (Temperatura)	-6.7 °C	Mínimo (Humedad)	4.8%
Promedio (Temperatura)	19.44 °C	Promedio (Humedad)	59.40%

En el invernadero pasivo, las temperaturas registradas durante el período de monitoreo de las variables fluctuaron entre 51.6 y -6.7 °C, mientras que la humedad varió de 4.8% a 100%. Esto se ilustra en la Figura 4, donde la temperatura se representa en color negro y la humedad en color verde.

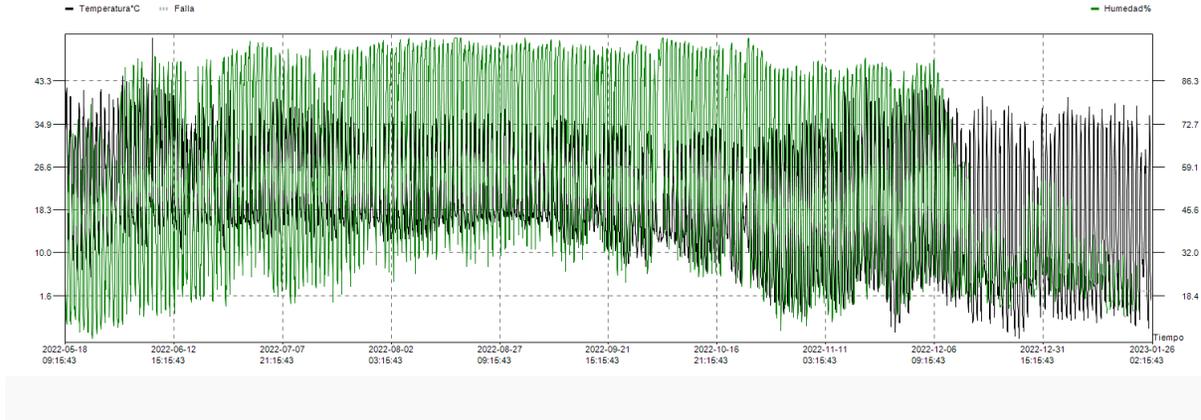


Figura 4. Comportamiento de las variables de humedad y temperatura.

El comportamiento de la temperatura se puede observar en la Figura 5, que presenta los valores máximos, mínimos y el promedio de esta variable dentro del invernadero. Esta representación gráfica permite identificar las fluctuaciones de temperatura a lo largo del tiempo, lo que es crucial para comprender el ambiente interno del invernadero.



Figura 5. Comportamiento de la temperatura.



En la Figura 6 se ilustra el comportamiento de la humedad a lo largo de los distintos meses en los que se monitorizó el proceso de deshidratación. Esta gráfica proporciona una visión clara de cómo la humedad varió durante el tiempo, lo que es fundamental para entender las condiciones óptimas para el deshidratado eficaz de los productos.



Figura 6. Comportamiento de la humedad.

Durante la tercera y cuarta semana de julio, así como en la primera y segunda semana de agosto de 2022, se registraron valores inusuales caracterizados por un aumento significativo en la humedad y una disminución de la temperatura, atribuibles a la llegada de la temporada de lluvias. Esta variación se puede observar en la Figura 7, que ilustra claramente cómo estas condiciones climáticas afectaron el ambiente dentro del invernadero.

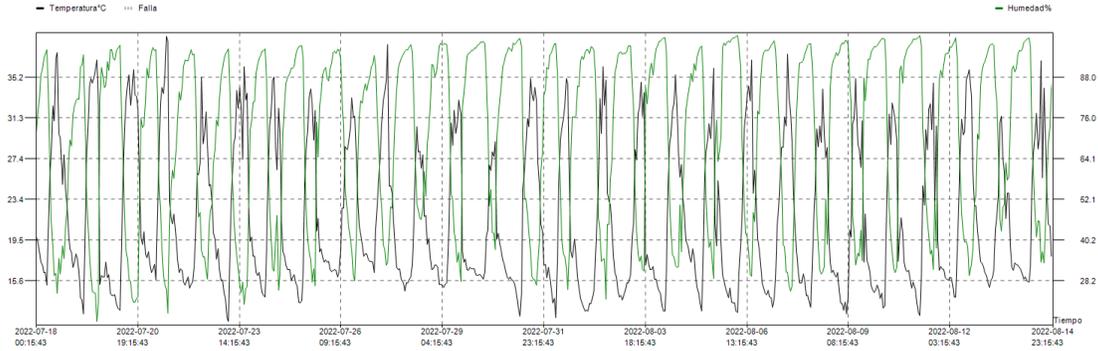


Figura 7. Temperatura y humedad de los meses de julio-agosto.

En la Figura 8 se ilustra la relación inversamente proporcional entre la humedad y la temperatura en el interior del invernadero. Esto indica que, a medida que la temperatura aumenta, la humedad tiende a disminuir, y cuando la temperatura desciende, la humedad se eleva.

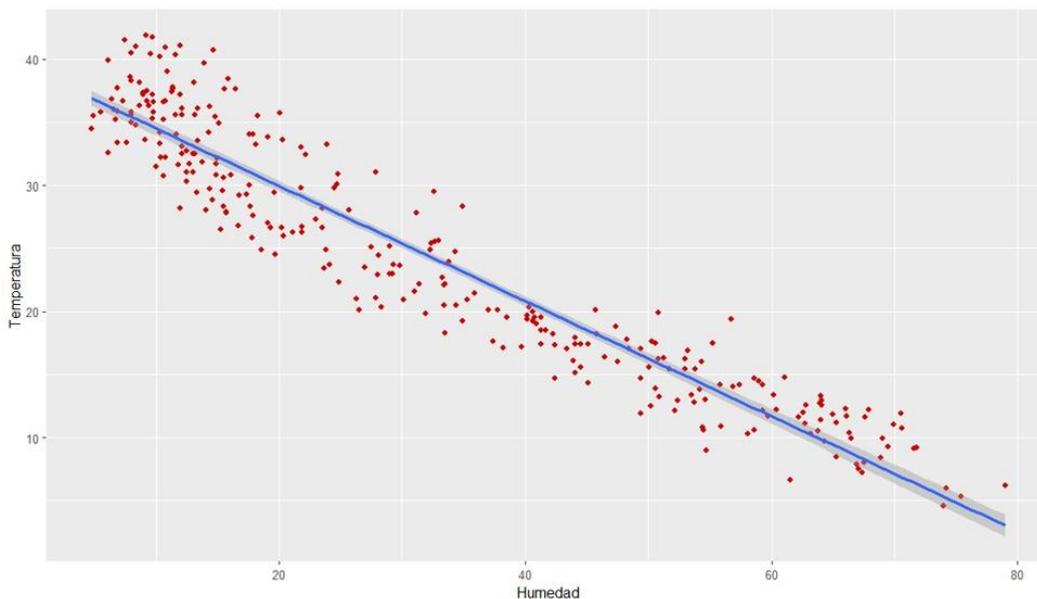


Figura 8. Relación inversa entre humedad y temperatura.



El tiempo requerido para el proceso de deshidratación está determinado por la relación inversa entre la temperatura y la humedad. Es decir, si el cultivo de cebolla presenta un mayor porcentaje de humedad, el tiempo necesario para lograr una deshidratación efectiva se extenderá. Esto se debe a que un alto contenido de humedad dificulta la eliminación del agua presente en las cebollas, lo que prolonga el proceso.

Las Figuras 9 y 10 representan datos correspondientes al mes de mayo, mientras que las Figuras 11 y 12 se refieren al mes de junio de 2022. En ambos meses, se observaron los niveles más altos de temperatura junto con los porcentajes más bajos de humedad. Esta tendencia es significativa, ya que sugiere que el incremento en la temperatura durante estos meses puede haber influido en la reducción de la humedad ambiental.

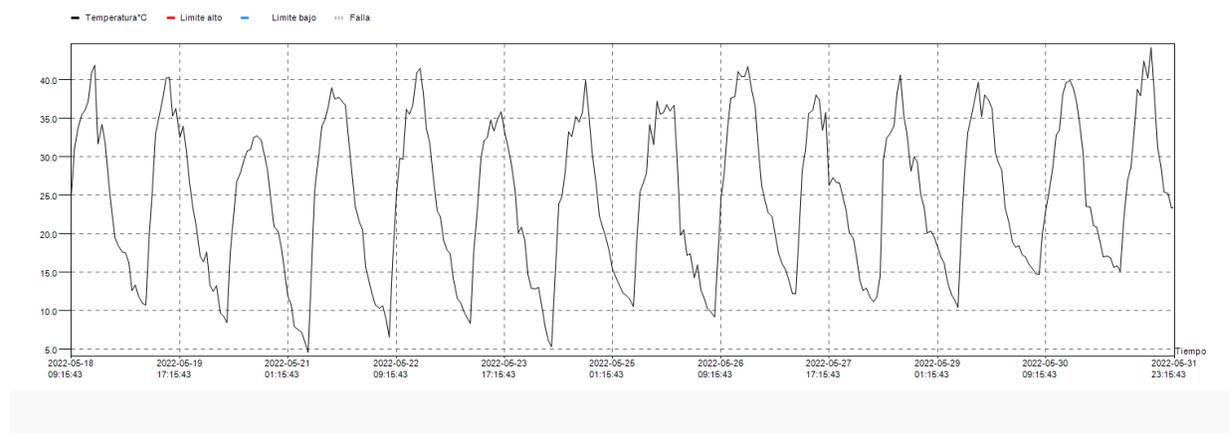


Figura 9. Temperatura del mes de mayo 2022.

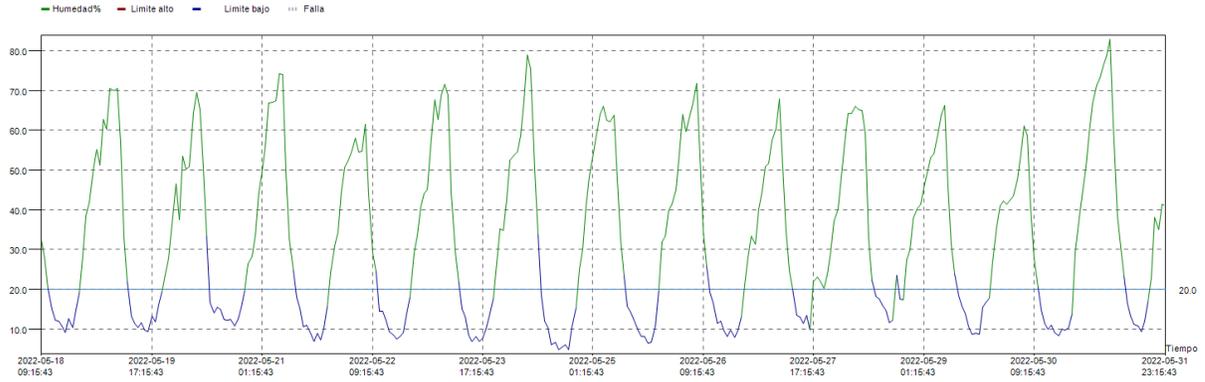


Figura 10. Humedad del mes de mayo 2022.

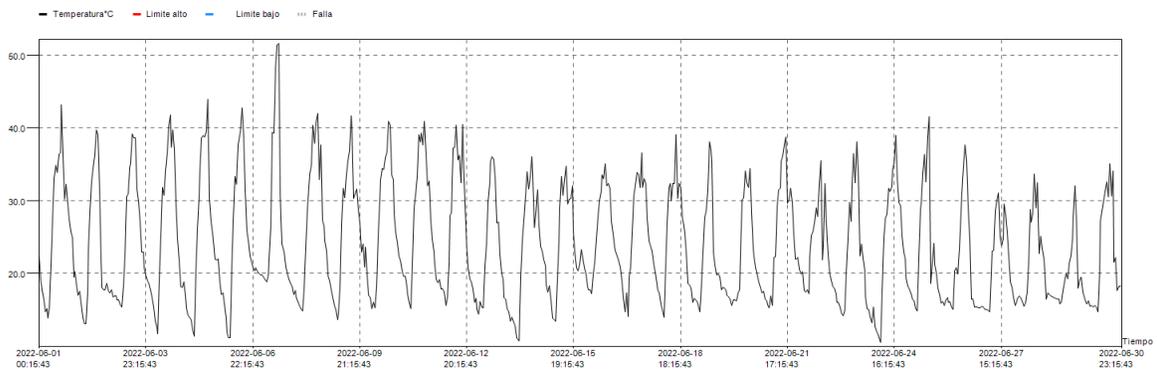


Figura 11. Temperatura del mes de junio 2022.

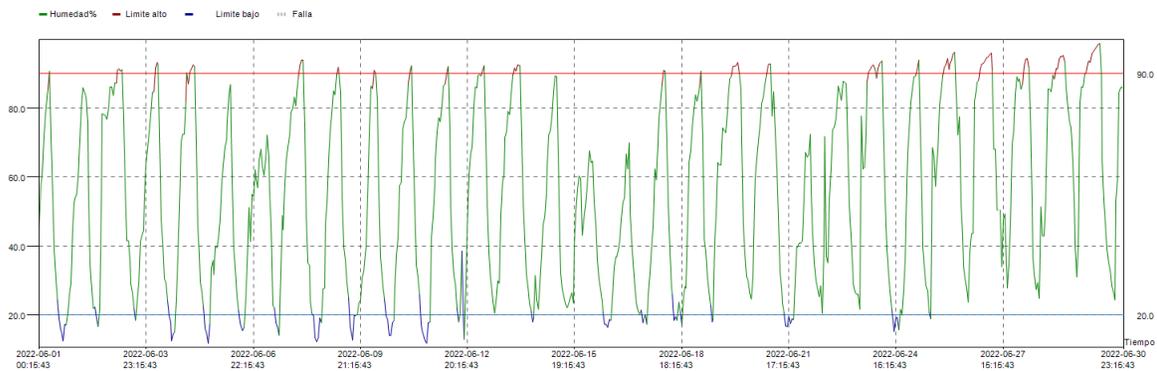


Figura 12. Humedad del mes de junio 2022.



Se documentó un aumento en la temperatura y una disminución en la humedad durante los meses de abril y mayo de 2023, tal como se puede apreciar en las Figuras 13 y 14, los altos niveles de temperatura y baja humedad influyen directamente en el proceso de deshidratación.

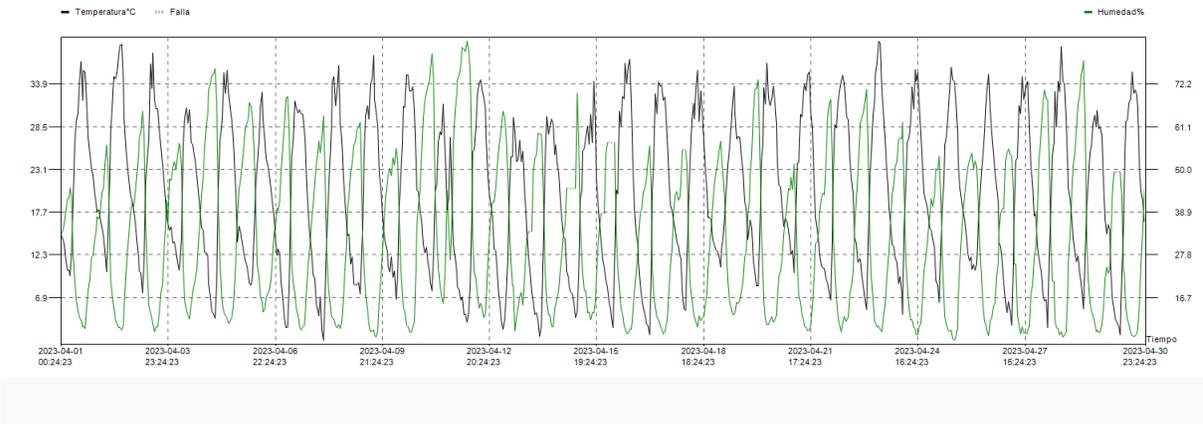


Figura 13. Temperatura y humedad abril 2023.

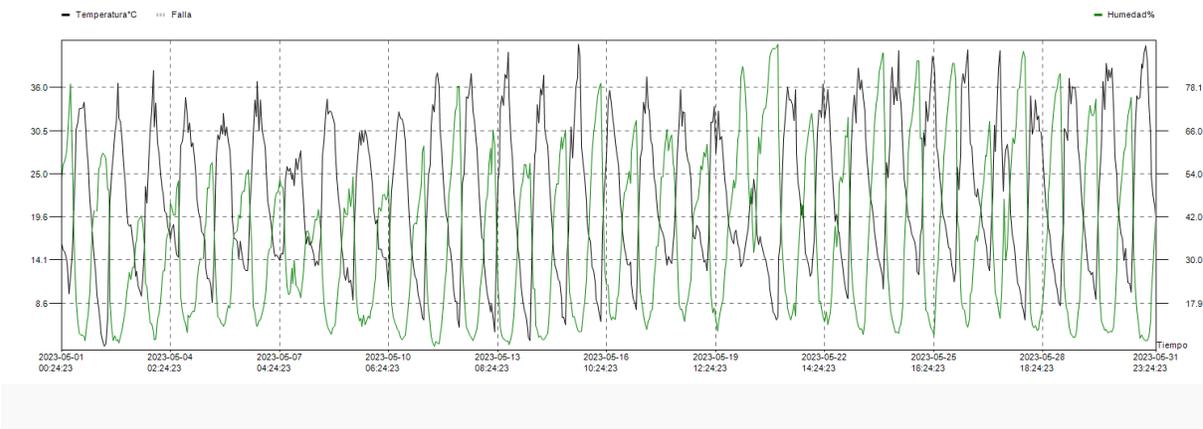


Figura 14. Temperatura y humedad mayo 2023.



La Figura 15 presenta el comportamiento de la variable de temperatura a lo largo de los últimos cinco años, mostrando de manera gráfica los valores máximos, mínimos y la media de esta variable. Esta representación visual permite observar las fluctuaciones anuales y las tendencias a lo largo del tiempo, lo que es esencial para comprender cómo han cambiado las condiciones térmicas en ese periodo.

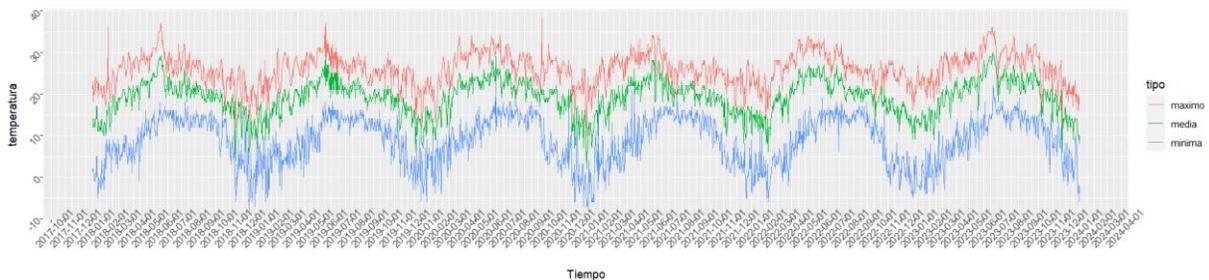


Figura 15. Historial de temperatura.

Los valores máximos, mínimos y la media de la variable de humedad registrados en los últimos cinco años se pueden apreciar en la Figura 16, que revela una notable similitud entre los diferentes años. Esta consistencia en los datos sugiere que las condiciones de humedad han permanecido relativamente estables a lo largo del tiempo, lo que puede ser indicativo de patrones climáticos recurrentes en el área.

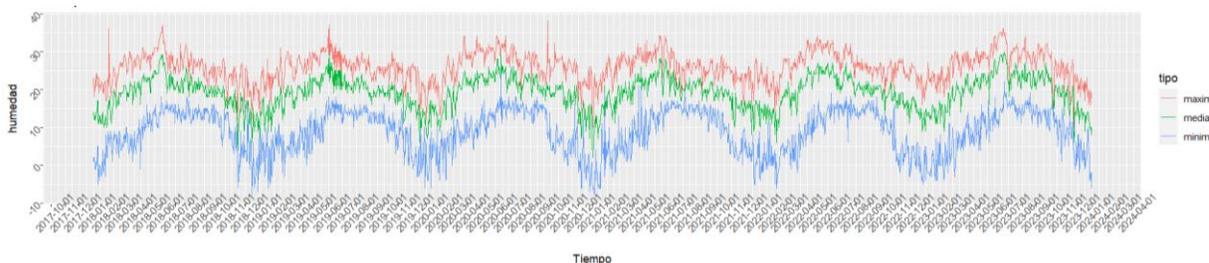


Figura 16. Historial de humedad.



El comportamiento de la temperatura en los últimos cinco años se puede observar en la Figura 17, donde se destaca que los meses de abril, mayo, junio y julio han sido los más idóneos para llevar a cabo el proceso de deshidratación de los cultivos. Esta información es crucial, ya que sugiere que durante estos meses las condiciones térmicas son más favorables para este tipo de procesos. Además, un análisis detallado de la temperatura en estos meses puede facilitar la planificación del ciclo de deshidratación, optimizando así el uso de recursos y mejorando la calidad del producto final.

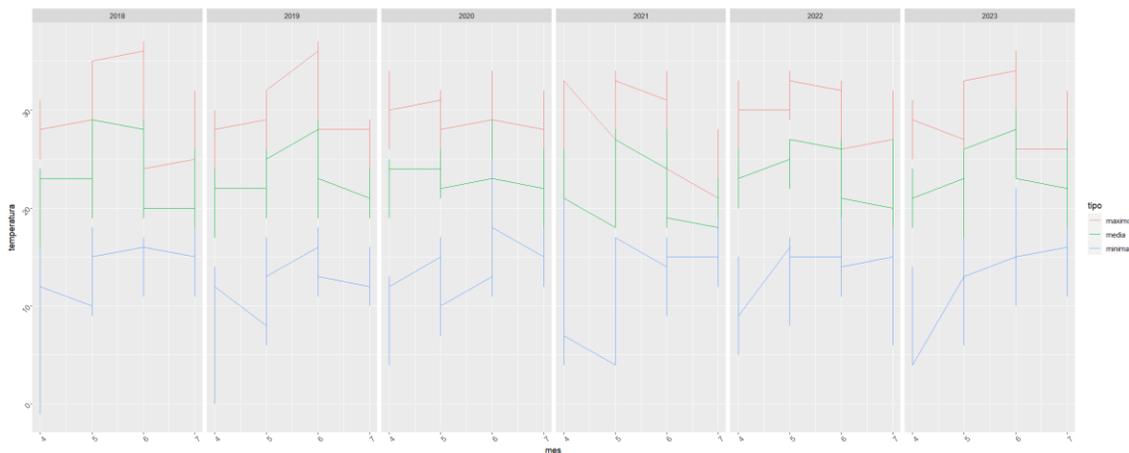


Figura 17. Historial de temperatura en los meses de abril, mayo, junio y julio.

La Figura 18 muestra los resultados del análisis bromatológico efectuado en tres muestras de cebolla deshidratada (C1, C2 y C3). En este análisis, se evidencia que la muestra C3 presenta el porcentaje más elevado de ceniza, lo que podría sugerir una mayor cantidad de minerales y compuestos inorgánicos. Por otro lado, la muestra C2 destaca por su mayor porcentaje de extracto entero, lo que indica un contenido nutritivo superior, ideal para ciertos usos alimentarios. Además, el



porcentaje de materia seca es más alto en la muestra C3, lo que implica una mayor concentración de sólidos y, potencialmente, una mejor calidad en términos de sabor y conservación. En contraste, el porcentaje de peso crudo es mayor en la muestra C2, seguida por la muestra C1. Estos hallazgos son cruciales para comprender las propiedades nutricionales y funcionales de las cebollas deshidratadas analizadas.

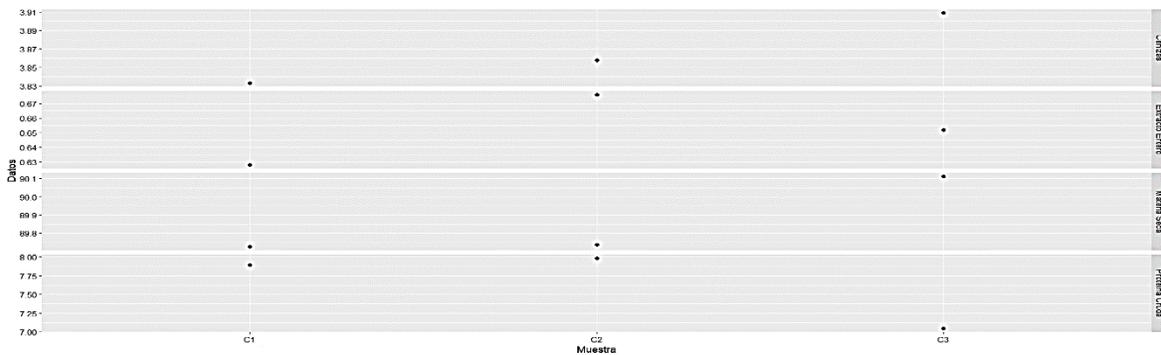


Figura 18. Análisis bromatológico.

El Cuadro 5. presenta los costos asociados a los equipos de deshidratación. De acuerdo con los datos, la opción más asequible es la rehabilitación del invernadero. Por otro lado, se observa que optar por un invernadero totalmente equipado o por un deshidratador industrial implica realizar una inversión considerablemente mayor.

Cuadro 5. Costos de equipos.

EQUIPO	COSTO
Deshidratadores Industriales	\$190,000.00
Invernadero Equipado	\$250,000.00
Rehabilitar Invernadero	\$50,000.00



A partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto y considerando que las variables de temperatura y humedad en un invernadero pasivo no son controlables, se ha demostrado que el proceso de secado del cultivo de cebolla es viable y económico. Esto se debe a que la principal fuente de energía sostenible utilizada es la solar. Además, se rehabilitó un invernadero que estaba en desuso, lo cual permite reducir significativamente los costos en comparación con los deshidratadores industriales.

En Durango, existen 303 invernaderos, de los cuales el 60% están inhabilitados. Esto presenta una gran oportunidad para darles un nuevo uso, aprovechando los recursos disponibles para convertir estos espacios en deshidratadores solares, lo que contribuiría a extender la vida útil de los productos hortícolas.

El análisis del comportamiento de la temperatura y la humedad dentro del invernadero durante los meses de abril, mayo, junio y julio indica condiciones óptimas para el proceso de secado. Estos meses presentan temperaturas elevadas y niveles bajos de humedad. Aunque las variables no son controlables debido al método de deshidratación y su fuente de energía, es posible identificar los meses más favorables basándose en datos históricos y mediciones realizadas en el estado de Durango. En los últimos cinco años, se ha observado un aumento en las temperaturas máximas durante abril, mayo, junio y julio, consolidándolos como los períodos más efectivos para llevar a cabo la deshidratación.



Asimismo, mediante un análisis bromatológico se comprobó que la deshidratación de cebolla en un invernadero pasivo utilizando energía solar se realiza con éxito sin afectar sus propiedades organolépticas y nutricionales, a pesar de la sensibilidad del producto a altas temperaturas. Es crucial que los cortes del producto sean homogéneos para garantizar un secado uniforme; diferencias en el tamaño pueden resultar en variaciones en los tiempos de secado.

La cantidad de azúcares en la cebolla blanca es de 5 a 6 grados Brix. La variación en los grados Brix puede depender de factores como el tipo de suelo, las condiciones climáticas, el tiempo de cosecha y secado. La cebolla blanca deshidratada, con su sabor ligeramente dulce, aporta beneficios nutricionales, como vitaminas y antioxidantes.

Aunque el proceso de secado puede realizarse durante todo el año, es importante destacar que cuando las temperaturas disminuyen, el proceso se vuelve más lento y requerirá más días para completarse. Durante la temporada de lluvias, se observa un aumento en la humedad relativa que puede alcanzar hasta el 100% entre julio y septiembre debido a tormentas tropicales o huracanes.

Se ha identificado una viabilidad económica significativa en la rehabilitación de invernaderos inactivos para su uso como deshidratadores solares. Los costos asociados con esta rehabilitación son considerablemente menores en comparación con la compra de un deshidratador industrial o la instalación de un invernadero



completamente equipado. De hecho, se estima que rehabilitar un invernadero cuesta solo una cuarta parte del monto necesario para adquirir equipo de secado o construir uno nuevo invernadero equipado. A demás, se puede implementar un sistema de control de temperatura y humedad que permita mantener condiciones ideales para el secado, garantizando así una mayor calidad en los productos finales. Esto es crucial, ya que hortalizas bien deshidratadas tienen una mejor conservación y pueden alcanzar precios más altos en el mercado.

Las energías renovables poseen un gran potencial en nuestro país, por lo cual es fundamental implementar tecnologías que favorezcan el desarrollo de industrias con bajo consumo energético convencional. Al optar por energía solar, es posible reducir los costos operativos relacionados con combustibles fósiles y dispositivos ineficientes. La utilización de energía solar no solo reduce costos operativos a largo plazo, sino que esta estrategia posiciona a los agricultores como actores clave en la promoción de prácticas responsables.

Es esencial tener en cuenta que tanto el consumo como la producción alimentaria impactan considerablemente en el medio ambiente y en la disponibilidad de recursos. Por ende, para alcanzar un desarrollo sostenible es necesario desvincular el crecimiento económico de la degradación ambiental.



CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el programa RStudio, se llevó a cabo un análisis de las variables generadas por el Data Logger RC-4HC, lo que reveló una relación significativa entre la temperatura y la humedad relativa.

A partir de los datos recopilados y analizados durante un periodo de doce meses, se puede concluir que existe viabilidad técnico-económica en la utilización de invernaderos pasivos como secadores solares para productos hortícolas, específicamente cebollas. Durante este periodo, se registraron condiciones óptimas para el secado, que varían de cinco a siete días. Es importante destacar que las variables de humedad y temperatura dentro del invernadero no son constantes ni manipulables, dado que la principal fuente de energía es solar. Esto repercute positivamente en el aspecto económico, ya que se utiliza una fuente de energía renovable y limpia, lo que resulta en un bajo costo operativo.

Tomando en cuenta los costos analizados para la rehabilitación de un invernadero pasivo en desuso, la adquisición de un deshidratador solar o la instalación de un invernadero equipado, se determinó que existe mayor viabilidad económica en la rehabilitación de un invernadero pasivo para su reutilización como secador solar para los productos hortícolas, puesto que la inversión total no rebasaría los \$50,000 pesos, lo cual equivaldría a solo un 25% en comparación a otras inversiones.

Este enfoque no solo es más accesible desde un punto de vista financiero, sino que también maximiza el uso de recursos ya existentes, minimizando el impacto



ambiental asociado con la construcción de nuevas estructuras. La rehabilitación de un invernadero pasivo implica una serie de modificaciones que pueden incluir el sellado de filtraciones, el refuerzo de la estructura y la optimización de los materiales para mejorar la captación solar.

La utilización de invernaderos pasivos que actualmente no están en producción se presenta como una opción viable para el secado de hortalizas; su rehabilitación permitiría darle un nuevo uso a un costo reducido, aprovechando al máximo la energía solar. Por último, es relevante señalar que, según los hallazgos de este estudio sobre el secado de cebollas, los meses más favorables para llevar a cabo esta actividad son abril, mayo, junio y julio. De esta manera, la rehabilitación y aprovechamiento de invernaderos pasivos representa una alternativa prometedora para mejorar el proceso de secado agrícola.

En resumen, rehabilitar un invernadero pasivo como secador solar se presenta como una opción económicamente viable y ambientalmente sostenible que puede aportar beneficios significativos tanto a los productores como a la comunidad en general. Al optimizar recursos y reducir costos, se abre una puerta hacia la innovación y mejora en los procesos agrícolas.



REFERENCIAS

- Bejarano Martínez Carlos Alberto. (2018). *Evaluación del Efecto del Uso de un Deshidratador Solar*. Colombia: Creative Commons Reconocimiento-NoComercial.
- Bohórquez Mariño, J. L., & Rodríguez Villamil, D. A. (2016). *Diseño de un colector solar de placa plana para la deshidratación de productos agroindustriales*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/>
- Cuzme Pinargote, X. E., & Nevárez Loor, R. G. (12 de 05 de 2016). Efecto de temperatura y tiempo de deshidratación, en características físicas y sensoriales de cebolla perla (*Allium cepa* L.) en polvo. Calceta. Obtenido de Efectos de temperatura y tiempo de deshidratación, en características físicas y sensoriales de cebolla perla (*Allium cepa* L.) en polvo.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/about/es/>
- Fuentes. (2019). *Unidad de Ecotecnologías de la UNAM*. Obtenido de <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2>
- Gascón, A., Muravnick, N., & Andreuccetti, C. (2013). *Desecación y Deshidratación de Vegetales*. Departamento de Tecnología Agroindustrial Facultad de Ciencias Agrarias: Cátedra de Industrias Agrarias.
- Iberica, F. S. (2019). *Soluciones Energeticas Renovables*. Obtenido de <https://fhsolarled.com/>
- Méndez Recinos, E. (2017). *Diseño, Construcción y Caracterización de prototipo de deshidratador solar para la producción agrícola*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Ohaco, P., & Micheles Blanco, M. C. (2017). *Facultad de Ciencias y Tecnología de los Alimentos – Universidad*. Obtenido de https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cartilla_secado.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*. Recuperado el 11 de 2021, de <https://www.fao.org>



SIAP. (2022). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap>

Tecnologías apropiadas para la transformación agropecuaria. (2017). *Ingeniería sin Fronteras*. Obtenido de <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Tecnologia-para-la-Transformacion-Agropecuaria-Deshidratador-Solar-ESF-1.pdf>