

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



TESIS

**Efecto de las variables termodinámicas en la velocidad de secado del ají
rocoto en un deshidratador solar – Lambayeque, 2017**

**Para optar el Título Profesional de
LICENCIADO EN FÍSICA**

Investigator : Bach. Rojas Morales, William Rubén
Asesor : Lic. Fís. Francisco García Roque

Lambayeque, 2020

**Efecto de las variables termodinámicas en la velocidad de secado del ají
rocoto en un deshidratador solar – Lambayeque, 2017**

Presentado a la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas para obtener el Título Profesional
de Licenciado en Física por:



Bach. Rojas Morales, William Rubén

Autor



Lic. Fis. Francisco García Roque

Asesor

Aprobado por:



Lic. Fis. Jesús Luzgardo Lozano Alvarado

Presidente



M.Sc. Jorge Luis Calderón Bacón

Secretario



Lic. Fis. Javier Alejandro Castañeda Akamine

Vocal

Lambayeque, 21 de enero de 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DECANATO
Ciudad Universitaria - Lambayeque



ACTA DE SUSTENTACIÓN N°008-2020-D/FACFyM

(Sustentación Autorizada por Resolución N°031-2020-D/FACFyM)

En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:00 pm del día 21 de Enero del 2020 se reunieron en la videotea del Laboratorio de Física los miembros del Jurado designados mediante Resolución N° 549-2017-D/FACFyM, los docentes:

Lic. Fís. Jesús Luzgardo Lozano Alvarado	Presidente
M.Sc. Jorge Luis Calderón Bacón	Secretario
Lic. Fís. Javier Alejandro Castañeda Akamine	Vocal

Para recibir la tesis titulada:

"EFECTO DE LAS VARIABLES TERMODINÁMICAS EN LA VELOCIDAD DE SECADO DEL AJI RACOTO EN UN DESHIDRATADOR SOLAR - LAMBAYEQUE 2017"

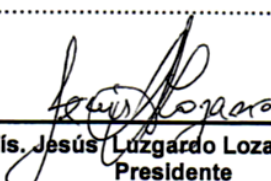
desarrollada por el Bachiller en Física, **Rojas Morales William Ruben.**

Después de escuchar la exposición y las respuestas a las preguntas formuladas por los miembros del Jurado, se acordó A PROBAR el trabajo por UNANIMIDAD con el calificativo de BUENO

En consecuencia, el Bachiller en referencia queda apto para recibir el Título Profesional de **Licenciado en Física** de acuerdo a la Ley Universitaria, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque.

Observaciones:

Para constancia del hecho firman.


Lic. Fís. Jesús Luzgardo Lozano Alvarado
Presidente


M.Sc. Jorge Luis Calderón Bacón
Secretario


Lic. Fís. Javier Alejandro Castañeda Akamine
Vocal

CERTIFICO: Que, es copia fiel del original
Fecha: 01 / 01 / 2023

Dr. Marco Antonio Martín Peralta
SECRETARIO DOCENTE - FACFyM
VALIDO PARA TRÁMITES INTERNOS DE LA UNPRG



CONSTANCIA DE SIMILITUD N° 61-2023- VIRTUAL-UI-FACFyM

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, hace constar:

Que, el Bachiller **ROJAS MORALES WILLIAM RUBÉN** de la Escuela Profesional de **FISICA**, ha cumplido con presentar la **SIMILITUD DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS (TURNITIN)**, como requisito indispensable para la sustentación de la tesis, según detalle:

- **TÍTULO DE LA TESIS: "EFECTO DE LAS VARIABLES TERMODINÁMICAS EN LA VELOCIDAD DE SECADO DEL AJI ROCOTO EN UN DESHIDRATADOR SOLAR-LAMBAYEQUE 2017"**

- **ÍNDICE DE SIMILITUD: 17%**

- **ASESOR: Lic. Fis. Francisco García Roque**

Se expide la presente constancia, para la tramitación del Título Profesional, dispuesto en la Directiva para la evaluación de originalidad de los documentos académicos, de investigación formativa y para la obtención de Grados y Títulos de la UNPRG.

Lambayeque, 2 de agosto de 2023

Dr. WALTER ARRIAGA DELGADO
DIRECTOR - UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Anexo 01

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD (RESOLUCIÓN N° 626-2021-CU DEL 30 DE DICIEMBRE 2021)

Yo, **Francisco García Roque**, usuario revisor del documento titulado: **Efecto de las Variables Termodinámicas en la Velocidad de Secado del Ají Rocoto en un Deshidratador Solar – Lambayeque, 2017**. Cuyo autor es: **Rojas Morales, William Rubén**, Identificado con Documento de Identidad **41927598**; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **17%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 01 de agosto de 2023.



Lic. Fis. Francisco García Roque
17576811
Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	William Rubén Rojas Morales
Título del ejercicio:	Tesis Rojas Morales
Título de la entrega:	Informe de tesis
Nombre del archivo:	INFORME_FINAL_26-07-23_WRRM.docx
Tamaño del archivo:	3.2M
Total páginas:	46
Total de palabras:	8,581
Total de caracteres:	44,907
Fecha de entrega:	27-jul.-2023 11:31p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2137890426

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



TESIS

"Efecto de los Variables Termométricas en la Toxicidad de Novakidol
al Microbio en Dendrobates Fides - Lamberto, 2023"

Investigador : Mark Rojas Morales, William Rojas
Asesor : Lic. Francisco García Roque

Lamberto, 2023

Derechos de autor 2023 Turnitin. Todos los derechos reservados.


Lic. Fis. Francisco García Roque
17576811
Asesor


Informe de tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	3 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.cenidet.edu.mx Fuente de Internet	7 %
2	repositorio.unajma.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	roboticatecnociencia.cl Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	dicyt.uajms.edu.bo Fuente de Internet	1 %
8	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1 %
9	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	1 %



Lic. Fis. Francisco García Roque
17576811
Asesor

10	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
12	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	<1 %
14	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
15	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo



Lic. Fis. Francisco García Roque
17576811
Asesor

DECLARACIÓN JURADA

Yo, WILLIAM RUBÉN ROJAS MORALES, Investigador Principal, y FRANCISCO GARCÍA ROQUE, asesor del trabajo de investigación **“Efecto de las Variables Termodinámicas en la Velocidad de Secado del Ají Rocoto, en un Deshidratador Solar – Lambayeque, 2017”**, declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumimos responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar, que pueda conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 21 de enero del 2020.

Nombre del Investigador : William Rubén Rojas Morales

Nombre del Asesor : Francisco García Roque

DEDICATORIA

A mi padre, Ing. José Mercedes Rojas Panta, quien me forjó, desde pequeño en los valores cristianos y el respeto a nuestro Dios; a mi madre Luzmila Morales Cueva por darme el ánimo cada día para superarme.

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por haberme permitido tener unos padres muy amorosos; a mi esposa por su apoyo y paciencia, y a todas aquellas personas que dieron un poco de su tiempo en colaboración de este proyecto.

ÍNDICE

	Pág.
Carátula	1
Hoja de firmas	2
Acta de Sustentación	3
Constancia de Similitud	4
Constancia de Verificación de Originalidad	5
Recibo Digital de TURNITIN	6
Informe de Originalidad	7
Declaración Jurada	9
Dedicatoria	10
Agradecimiento	11
Índice General	12
Índice de Tablas y Gráficos	14
Índices de Figuras	15
Resumen	16
Introducción	17
Capítulo I. Marco teórico	18
1. Formulación del Problema Científico	18
2. Objetivos:	18
✓ Objetivos Generales	18
✓ Objetivos específicos	18
3. Justificación e Importancia	19
4. Hipótesis	19
5. Definición de Términos y Conceptos	20
5.1. Factores de Deshidratación	20
a) Humedad relativa del Aire	20
	12

b) Temperatura del Aire	20
✓ Temperatura del bulbo seco	20
✓ Temperatura del bulbo húmedo	21
5.2. Deshidratador Solar	21
6. Proceso de Secado	21
6.1. Velocidad del Aire de Deshidratado	22
6.2. Cantidad de Humedad Inicial	23
6.3. Cantidad de Humedad Final	23
6.4. Cantidad de Humedad de Equilibrio	24
6.5. Cantidad de Humedad Crítica	24
6.6. Tiempo de velocidad de deshidratación constante	24
6.7. Tiempo de velocidad de deshidratación decreciente	26
7. Antecedentes	27
✓ Investigación del Proceso de Deshidratado de la Tuna en una Fila de Bandejas	27
✓ Deshidratado de Ají Habanero mediante Energía Solar	28
Capítulo II. Métodos y Materiales	
1. Método teórico del deshidratador en bandejas	30
2. Materiales	34
✓ Deshidratador solar	34
✓ Sensor DHT22-PCB	36
✓ Sensor BMP180-PCB	37
✓ Tarjeta Arduino Mega-2560R3	38
✓ Tarjeta microSD	38
Capítulo III. Resultado y Discusión	39
Capítulo IV. Conclusiones	43
Capítulo V. Recomendaciones	44
Referencias Bibliográficas	45
Anexos	46

ÍNDICE DE TABLA Y GRÁFICOS

	Pág.
Tabla 3.1: Análisis estadísticos de los datos	40
Gráfico 3.1: Humedad de entrada vs tiempo	41
Gráfico 3.2: Humedad de salida vs tiempo	41
Gráfico 3.3: Temperatura de entrada, interior y salida	42
Gráfico 3.4: Humedades de entrada y salida	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Comportamiento de la humedad en el tiempo	22
Figura 2.1: Deshidratador de bandejas	31
Figura 2.2 Componentes de un Deshidratador Solar	34
Figura 2.3: Medidas consideradas para construcción del Deshidratador Solar	36
Figura 2.4: Sensor de Humedad y Temperatura (DHT22-PCB)	36
Figura 2.5: Sensor de Presión (BMP180-PCB)	37
Figura 2.6: Tarjeta Adquisidora de datos (Arduino Mega-2560R3)	38
Figura 2.7: Tarjeta microSD	38

RESUMEN

Este proyecto fue desarrollado para mejorar el procedimiento de deshidratado de productos agrícolas; para ello se realizó un trabajo donde se observó qué efectos sufrían las variables termodinámicas dentro de la cámara de secado del deshidratador solar. Se logró identificar qué variables podrían afectar a este proceso, las cuales fueron: Temperatura, Humedad y Presión; los valores de estas variables fueron obtenidos mediante la utilización de sensores electrónicos, y almacenados en una Tarjeta Arduino Mega 2560R3, previamente programada.

Como producto agrícola elegido fue el ají rocoto, debido a que tiene una sobreproducción en el tiempo en que las condiciones climáticas son muy favorables a la utilización de la energía térmica que nos brinda el sol. El producto fue preparado para su deshidratación en rebanadas que comprendían un espesor de entre 0,5 cm y 1 cm., para que el flujo de aire caliente sea aprovechado en lo máximo posible.

El resultado obtenido fue satisfactorio debido a que el proceso de deshidratación se logró en un corto tiempo, correspondiente a 6 horas.

La temperatura fue la variable que, más efectos mostró.

Al principio se pensaba utilizar un flujo de aire forzado, pero se decidió hacerlo por medio de un flujo natural, considerando que el diseño inclinado del colector, lograba que el aire calentado subiera por sí solo hacia la cámara de deshidratado.

El análisis de los diagramas de los datos obtenidos durante las mediciones nos permitió verificar experimentalmente los valores de las variables termodinámicas.

Palabras claves: Deshidratador solar, cámara de deshidratado, flujo de aire, humedad, producto agrícola, ají rocoto

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad hasta el presente, el secado de alimentos ha sido un trabajo continuo para garantizar la disponibilidad de alimentos mediante el aprovechamiento de la abundancia de las cosechas estacionales y la conservación de los alimentos para el consumo durante todo el año.

Asimismo, el secado de alimentos también es practicado actualmente por las industrias mediante diferentes métodos, empleando grandes maquinarias para este propósito.

El proceso de secado es la extracción de agua de los alimentos con lo que se inhibe la proliferación de microorganismos, pudiendo en este estado ser exportados en condiciones óptimas de conservación y el fácil transporte por el menor peso que contienen los alimentos después de haber sido deshidratados. Sin embargo, el alto consumo de energía en las industrias es un problema latente en el mundo y mucho más aun en la región de Lambayeque, que en la actualidad se encuentra en pleno desarrollo industrial.

En este punto, frente al problema energético, el aprovechamiento de energías renovables surge como alternativa al alto consumo energético en el planeta; es por esta razón que hemos utilizado la energía solar como fuente energética.

El fruto escogido para este estudio fue el ají de rocoto. Se utilizó un deshidratador solar que utiliza una fuente de calor y flujo de aire natural, para reducir el contenido de humedad de los productos alimenticios, prolongando así la vida útil de este fruto agrícola y ello conlleva a investigar las variables físicas involucradas.

Usar un deshidratador significa controlar el tiempo de deshidratado, la humedad relativa en la cámara de deshidratado, la pérdida de peso del producto, la velocidad y la temperatura del aire de secado. Actualmente, existen varios tipos de secadores utilizados en el proceso de secado. Sin embargo, recomendamos usar una deshidratadora de cama fija con bandejas separadas debidamente para secar frutas y verduras. Debido a que estos productos tienen un alto contenido de humedad (80 % o más), es por ello que no deben apilarse menos de 6 cm cuando están frescos, ya que es un entorno favorable para la oxidación del producto, la formación de hongos y la subsiguiente degradación del producto agrícola (Díaz Ayala, 2009).

Capítulo I

Marco teórico

1. Formulación del problema científico

¿Cómo afectan las variables termodinámicas en la velocidad de secado (deshidratado) del ají rocoto en un deshidratador solar?

2. Objetivos

Objetivo general

Estudiar qué efectos sufren de las variables termodinámicas en la velocidad de deshidratado del ají rocoto en un deshidratador solar.

Objetivos específicos

- ✓ Plantear las variables termodinámicas involucradas en el proceso de deshidratado del ají rocoto en un deshidratador solar.
- ✓ Construcción de un prototipo de deshidratador solar para el deshidratado del ají rocoto.
- ✓ Verificación experimental de datos y variables termodinámicas que afectan al proceso de deshidratado del ají rocoto en un deshidratador solar.

3. Justificación e importancia

En nuestro país, en los últimos años ha tenido un avance notable el desarrollo de la ciencia y tecnología de los productos alimenticios, lo cual ha traído un notable desarrollo y incremento a la comunidad local. Sin embargo, el aumento de la población y la mala situación económica de las familias lambayecanas también ha aumentado la necesidad de consumir alimentos más económicos.

En nuestro Perú, Lambayeque se destaca como una ciudad con una gran producción de productos agrícolas, tales como granos, verduras y todo tipo de vegetales. Estos productos desempeñan un papel crucial en la nutrición de la población. Todos estos Alimentos, son esenciales en la dieta, dado que proporcionan los nutrientes, que el cuerpo humano, diariamente necesita para funcionar, correctamente.

En los últimos años, ha habido una sobreproducción de productos agrícolas, lo cual ocasiona que una parte considerable de los productos cosechados acabe arruinándose antes de su consumo o venta debido a su naturaleza perecedera. Esto se da tanto en las

frutas (el mango, la papaya, la naranja, el limón, etc.) como en las verduras, incluyendo los ajís y pimientos.

Los procesos de conservación están destinados a prolongar la vida orgánica útil de los alimentos agrícolas. Una de las técnicas para conservar a estos productos es la deshidratación, por medio de la extracción del exceso de humedad que tenga dicho alimento, mediante la transferencia simultánea de calor y masa; esta técnica es más utilizada porque consume menos energía y es un proceso menos costoso.

Es importante realizar este estudio teórico-experimental del proceso de deshidratado del producto agrícola (ají rocoto) en rodajas, colocados en una fila de bandejas; con una reseña bibliográfica de todo tipo de trabajo realizado anteriormente. Estos proyectos se dividen en una etapa experimental del modelo de capa delgada y en estudios teóricos y experimentales de deshidratadores que utilizan una fuente de calor y flujo de aire natural. También se debe de revisar las normas y procedimientos recomendados en la manipulación e higiene de este producto agrícola y ecuaciones matemáticas relacionadas con las condiciones del medio ambiente (temperatura y humedad ambiental, velocidad de aire, etc.) y del producto agrícola (humedad inicial del ají rocoto, humedad crítica, etc.).

Uno de los elementos clave del diseño del deshidratador solar, es la forma del colector, ya que ello nos llevara a obtener la temperatura adecuada en la cámara de deshidratado y también considerar factores principales, como la distancia entre bandejas y el comportamiento del proceso de deshidratado del ají rocoto (curva de deshidratado), que determinan la capacidad y su buen funcionamiento de ella. Una forma de determinar estos factores es realizando pruebas empíricas o simulando el proceso bajo diversas condiciones de operación. Por ello, en este proyecto se realizaron trabajos teóricos y experimentales para conocer el comportamiento de la temperatura, la humedad y el flujo del aire en el proceso de deshidratación del ají rocoto en columna de bandejas.

De los resultados obtenidos (temperaturas y humedades), medidas de la bandeja y masa del producto por bandeja, sirvió para establecer las condiciones adecuadas para obtener un buen proceso de deshidratación y así poder alargar la vida orgánica útil del ají rocoto.

4. Hipótesis

La velocidad de secado es afectada directamente proporcional por la temperatura del ambiente y la temperatura del ají rocoto e inversamente proporcional a la humedad del aire y humedad del ají rocoto.

5. Definición de términos y conceptos

5.1. Factores de deshidratación

A lo largo de este proceso de deshidratación, varios factores afectaron el tiempo del proceso como: temperatura, humedad relativa y velocidad del aire; humedad inicial, humedad de equilibrio y humedad final del ají rocoto. Al respecto:

a) Humedad relativa del aire:

Se define como humedad relativa del aire a la relación que existe entre la presión del vapor de agua actualmente presente y la presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura. Esta humedad es expresada mayormente en términos de porcentajes (%), a mayor temperatura da como resultado mayor capacidad de retención de agua y viceversa.

Se dice que es aire completamente saturado cuando contiene su capacidad máxima, por lo tanto, no puede retener más humedad. Por el contrario, el aire no saturado es aquel que tiene la oportunidad de retener una cierta cantidad de agua hasta que alcanza la saturación (Díaz Ayala, 2009).

b) Temperatura del aire

El papel que juega la temperatura del aire al ingresar a nuestro colector es fundamental en el proceso de deshidratación. Esto se debe a que, cuanto mayor sea la temperatura del aire que ingresa, más rápida será la extracción de agua del producto agrícola, todo ello dentro de sus límites permitidos (Díaz Ayala, 2009).

En este proceso de deshidratación, para la selección de la temperatura necesaria se hace teniendo en cuenta el producto a procesar (ají rocoto).

Hay diferentes tipos de temperaturas mantenidas durante el procedimiento de deshidratación, como son:

✓ Temperatura de bulbo seco:

Esta es la que corresponde a la del entorno. Su valor se obtiene con un instrumento común, como un termómetro de mercurio.

✓ **Temperatura de bulbo húmedo:**

Esta es la temperatura de equilibrio, la cual es alcanzada cuando se mezcla el aire seco y el vapor de agua, es decir, sufre un proceso físico mediante el cual se produce el enfriamiento del aire mediante la evaporación de agua (proceso termodinámico adiabático) y el sistema se satura.

5.2. Deshidratador solar:

El deshidratador, es un instrumento que extrae cierta cantidad de agua de los alimentos y la expulsa en forma de vapor para así prolongar el tiempo de vida orgánica útil de dichos alimentos agrícolas. Los deshidratadores de alimentos utilizan una fuente de calor y un flujo de aire para reducir el contenido de humedad de los alimentos.

Cuando se utiliza la energía proveniente de la luz solar, entonces estamos en el caso de un Deshidratador solar.

6. Proceso de secado

Cuando los sólidos húmedos se someten a un proceso de deshidratación, ocurren dos subprocesos en simultáneo los cuales son:

1. La transmisión de materia en forma de humedad interna desde un sólido a una superficie y como consecuencia la evaporación de esta masa de agua.
2. El traspaso de la energía en forma de calor, del ambiente alrededor del sólido para evaporar el contenido de agua de la superficie. Para que se lleve a cabo este subproceso, deben de tomarse en cuenta las condiciones externas como la humedad, la temperatura, el flujo de aire y el tipo de deshidratador utilizado.

En el proceso de deshidratación de los cuerpos sólidos, el estudio se mide como la eliminación del agua en función del tiempo. El proceso de deshidratación tiene dos fases: un período de velocidad de deshidratación constante y un período de velocidad de deshidratación decreciente. *La Figura 1.1.* muestra los dos períodos de deshidratación. El primer período de velocidad de secado constante comienza cuando el producto comienza a deshidratarse y finaliza cuando el producto alcanza la humedad crítica, es en ese momento cuando el otro período comienza, el de velocidad de secado decreciente y

este termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio, es aquí cuando el proceso de deshidratación está completo.

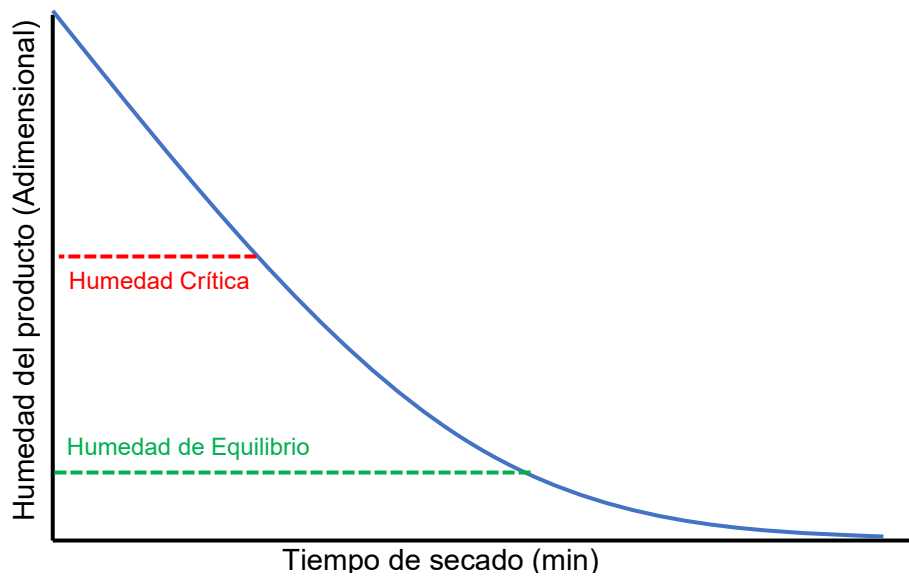


Figura 1. 1. Comportamiento de la humedad en el tiempo.

Fuente: (Díaz Ayala, 2009)

El tiempo necesario y las condiciones requeridas en el proceso de deshidratación están determinados por el contenido de agua del alimento que se desea obtener al final.

6.1. Velocidad del aire de deshidratado

Esta variable tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el alimento facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del alimento hacia el exterior del deshidratador.

Durante las primeras etapas del deshidratado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el alimento contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de deshidratado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de deshidratado aumenta.

Por tal razón, para asegurar un deshidratado rápido y uniforme es indispensable tener una buena circulación del aire constante y regular.

En la práctica, la economía del proceso determina la velocidad del aire. Se utiliza velocidades mayores a 3m/s solo en casos excepcionales (productos con alto

contenido de humedad), pero en general, la velocidad se considera entre 0.2 y 3m/s. En algunos casos, es recomendable utilizar velocidades de deshidratado altas al inicio del proceso de secado, pero a medida que disminuye la humedad se sugiere disminuir la velocidad. Lo anterior es posible si se cuenta con extractores de velocidad variable. (Díaz Ayala, 2009).

6.2. Cantidad de humedad inicial

La cantidad de humedad inicial de un alimento, es el contenido de agua del alimento cuando este es cosechado y varía de acuerdo al tiempo de cosecha. La humedad inicial también afecta a la tasa de deshidratado. Cuanto mayor sea el contenido de humedad del producto agrícola, entonces también será mayor el contenido de evaporación de agua por unidad de energía.

El contenido de humedad inicial de un alimento se puede expresar de la siguiente forma: en base húmeda, esto significa, al contenido total de agua en el alimento sobre su peso de materia seca y agua; o sobre una base seca, que es el contenido de humedad comprendido en el alimento en relación al contenido de materia seca. Ambas se pueden expresar como un porcentaje o como un número decimal. Es decir, se pueden determinar como se muestra a continuación:

$$h_{bh} = \frac{m_w}{m_w + m_s} = \frac{m_w}{m_t} \quad (1)$$

$$h_{bs} = \frac{m_w}{m_s} \quad (2)$$

Donde cada termino representa a:

- ✓ h_{bh} es la cantidad de humedad en base húmeda
- ✓ h_{bs} es la cantidad de humedad en base seca
- ✓ m_w es la masa de agua presente en el producto agrícola
- ✓ m_s es la masa de producto deshidratado y
- ✓ m_t es la masa total del producto agrícola.

6.3. Cantidad de humedad final

La cantidad de humedad final del producto, es la humedad que tiene el producto después de deshidratarlo. La humedad final depende del tiempo que se desea almacenar el producto, así como la calidad que se desea obtener en el mismo. Si el

producto no tiene la humedad final mínima que se requiere para almacenarlo, se presenta un ambiente favorable para la proliferación de microorganismos. (Díaz Ayala, 2009).

6.4. Cantidad de humedad de equilibrio

La cantidad de humedad de equilibrio, se define como el contenido de humedad que alcanza un producto después de haber sido expuesto en un ambiente de humedad relativa y temperatura constante, por un largo período de tiempo; depende de las condiciones de humedad y temperatura del ambiente, además de la variedad, madurez y especie del producto. (López, Vírseda, & Abril, 1995).

Varias ecuaciones empíricas han sido desarrolladas para expresar el contenido de humedad de equilibrio como una función de la humedad relativa y de la temperatura. Una de las ecuaciones es la de BET, desarrollado por Brunauer *et al.* en 1938 y está dada empíricamente por:

$$M_e = \frac{HR}{\left(\frac{1}{a_e x_m} + \frac{a_e - 1}{a_e x_m} HR\right)(1 - HR)} \quad (3)$$

Donde:

- ✓ HR es la cantidad de humedad relativa presente en el ambiente
- ✓ x_m y a_e ambas son constantes establecidas ya conocidas y estas dependen de la temperatura del producto agrícola.

6.5. Cantidad de humedad crítica

Esta es la cantidad crítica de humedad que tiene un producto si la resistencia interna al transporte de agua es igual a la resistencia externa a la eliminación del vapor de agua de la superficie del producto. Es decir, es la cantidad de agua que tiene el producto al final del período de velocidad de deshidratación constante y cuando comienza el período de velocidad de deshidratación decreciente. Varía según algunas características como: las condiciones de deshidratación, el tamaño y la forma del producto agrícola.

6.6. Tiempo de velocidad de deshidratación constante

El tiempo de velocidad de deshidratación constante, para productos biológicos con alto contenido de humedad, es un periodo que depende de tres parámetros externos:

la velocidad del aire, la temperatura del aire y la humedad del aire. Este período de velocidad, se presenta en productos donde la resistencia interna al transporte de humedad es mucho menor que la resistencia externa a la remoción del vapor de agua de la superficie del producto. Dicho período de deshidratación deja de ser de velocidad constante y pasa a ser de velocidad decreciente, cuando el contenido de humedad del producto es el contenido de humedad crítico. (López, Vírseda, & Abril, 1995).

Durante el periodo de velocidad constante, la superficie del producto está saturada de agua, y la deshidratación ocurre a la temperatura de bulbo húmedo correspondiente al aire de deshidratación. El mecanismo del movimiento del agua en el interior del producto y, por tanto, la estructura del alimento que se está deshidratando, determina la extensión o duración de este periodo de velocidad de deshidratación constante. El periodo de velocidad de deshidratación constante es más o menos manifiesto en función de las condiciones en las que se realiza la deshidratación. (López, Vírseda, & Abril, 1995)

La velocidad de deshidratación durante el periodo de velocidad de deshidratación constante puede ser determinada utilizando la ecuación de velocidad de transferencia de materia (agua) o la ecuación de velocidad de transferencia de calor.

Como la superficie del material se mantiene en condiciones de saturación y su temperatura es la del bulbo húmedo del aire de deshidratación, si se desprecia la transferencia de calor por conducción y radiación, la velocidad de deshidratación en este periodo vendrá dada por la ecuación (López, Vírseda, & Abril, 1995):

$$-\frac{dw_a}{dt} = \frac{hA(T_s - T_h)}{L_{vap}} = k_g A(p_w - p_{wa}) \quad (4)$$

Por tanto, en función de la cantidad de humedad del producto agrícola, en base seca se obtendrá lo siguiente:

$$-m_s \frac{dM}{dt} = \frac{hA(T_s - T_h)}{L_{vap}} = k_g A(p_w - p_{wa}) \quad (5)$$

Dónde:

- ✓ dw_a/dt es la cantidad de agua eliminada por unidad de tiempo (kg de agua/s)
- ✓ h es el coeficiente de transferencia de calor por convención ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

- ✓ A es el área de transferencia (m^2)
- ✓ T_s es la temperatura de bulbo seco del aire ($^{\circ}C$)
- ✓ T_h es la temperatura del bulbo húmedo del aire de secado ($^{\circ}C$)
- ✓ L_{vap} es el calor latente de vaporización del agua de la superficie del producto (kJ/kg de agua)
- ✓ k_g es el coeficiente de transferencia de materia entre la superficie del producto que se deshidrata y el aire de deshidratación (kg de agua/ m^2 s Pa)
- ✓ p_w es la presión de vapor de agua pura (Pa)
- ✓ p_{wa} es la presión de vapor en la superficie del sólido (Pa)
- ✓ m_s es la cantidad de producto que se deshidrata (kg de materia seca) y
- ✓ M es la cantidad de humedad del producto agrícola (kg de agua/kg de materia seca). (López, Vírseda, & Abril, 1995).

6.7. Tiempo de velocidad de deshidratación decreciente

Durante este tiempo o período de velocidad de deshidratación decreciente, la superficie del producto a deshidratar no está cubierta con una capa delgada de agua (como sucede durante el período de velocidad constante) debido a que la resistencia interna al transporte de humedad ha llegado a ser mucho mayor que la resistencia externa. (López, Vírseda, & Abril, 1995).

Como la cantidad de humedad del producto ha descendido del punto crítico, el potencial de deshidratación del proceso decrece con la velocidad de deshidratación. Esta parte del proceso de deshidratado finaliza cuando la humedad de equilibrio del producto llega a ser el óptimo para el almacenamiento del producto en cuestión. (López, Vírseda, & Abril, 1995).

El periodo de velocidad de deshidratación decreciente puede ser explicado por la ley de enfriamiento de Newton con consideraciones de que la relación de humedad es proporcional a la diferencia entre la humedad actual y el contenido de humedad de equilibrio (López, Vírseda, & Abril, 1995):

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (6)$$

Tomando en cuenta una condición de frontera de $M = M_i$ para $t = 0$, por lo tanto, el resultado de la ecuación 6 es:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = e^{-kt} \quad (7)$$

Donde:

- ✓ MR sería la relación que existe de la humedad del producto agrícola
- ✓ M_t es la cantidad de humedad al tiempo t
- ✓ M_e es la cantidad de humedad de equilibrio
- ✓ M_i es la cantidad de humedad inicial
- ✓ k es la constante empírica de deshidratado y
- ✓ t es el tiempo. (López, Vírveda, & Abril, 1995).

A la ecuación 5, se le conoce como el modelo de Lewis, Newton o también como la ecuación exponencial simple y esta es utilizada en su mayoría en el estudio para la deshidratación en capa delgada de productos agrícolas como el maíz, ají verde, etc.

En el caso del modelo de Henderson y Pabis también se le considera como una solución de la serie general de la segunda ley de Fick, este modelo ha sido utilizado con éxito para deducir el tiempo estimado para la deshidratación de productos agrícolas (Ghazanfari *et al.* 2006).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = ae^{-kt} \quad (8)$$

Donde: a es una constante empírica de deshidratado, al igual que k .

7. Antecedentes

México

Investigación del Proceso de Deshidratado de la Tuna en una Fila de Bandejas

En este artículo se presentó un estudio teórico y experimental de la transferencia de energía y masa, de rodajas de tuna de 6 meses de edad y con 4 mm de espesor en una fila de bandejas. El modelo experimental nos permitió obtener un modelo de deshidratado de lámina de tuna y sus constantes empíricas (k , a y n entre otras) a través de correlación de datos experimentales o curvas características. Para obtener la curva de deshidratación característica de la tuna, se tuvo que diseñar, construir e implementar un deshidratador experimental de bandejas con flujo de aire de convección forzada. El diseño se basa en estudios aerodinámicos del deshidratador utilizando el software FLUENT para lograr una distribución uniforme del aire al interior de la cámara de deshidratado.

Los datos obtenidos experimentalmente se compararon con 11 modelos de película delgada descritos en artículos científicos y se seleccionó el modelo que mejor representaba el nuestro proceso en función de parámetros estadísticos. Con respecto al estudio teórico se determinó la ecuación general unidimensional del modelo de deshidratado en filas de bandejas, mediante el balance de energía y masa. El modelo de capas y las propiedades del aire se agregaron a nuestras ecuaciones generales.

Para ello se desarrolló un código numérico utilizando el software MATLAB y el método de diferencias finitas, para resolver las ecuaciones elementales. Dicho código numérico nos ayuda a deducir la temperatura y la cantidad de humedad del aire y el comportamiento del producto agrícola durante el proceso de deshidratado en la fila de bandejas.

Los resultados experimentales muestran que el modelo de película delgada de Midilli describe mejor la mecánica cinética del deshidratado de la tuna. Todas las constantes empíricas se calcularon utilizando la ecuación de Arrhenius y las cuales se definieron al final en función de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire de deshidratado. Combinando el modelo de deshidratado de película delgada con las ecuaciones del modelo teórico, se realizaron simulaciones del proceso de deshidratado en filas de bandejas con temperaturas de 50, 55 y 60 °C y con una velocidad de aire de deshidratado de entre 1, 1.5 y 2 m/s.

Al final del estudio y con base en los resultados numéricos, se concluyó a recomendar las medidas de las dimensiones de la cámara para el deshidratado para unos 500 kg. de tuna por día. Estas dimensiones de la cámara de deshidratado fueron: 3,18 m de largo, 2,4 m de ancho y 1,0 m de alto. La cámara de deshidratado tiene 18 pisos con bandejas de 3,04 m de largo y 2,26 m de ancho, con una capacidad aproximada de 13,9 kg por cada una de producto agrícola, en este caso de tuna. (Díaz Ayala, 2009)

“Deshidratado de Ají Habanero mediante Energía Solar”

Este estudio analiza el proceso de deshidratado del ají habanero utilizando energía calorífica proveniente del sol y lo compara con el proceso realizado en deshidratadores de convección convencionales. Una serie de pruebas preliminares han demostrado que, si el ají habanero se corta en rodajas de 0,3 a 1,3 cm de grosor, ya se puede lograr un buen deshidratado a temperaturas superiores a 50°C.

Los resultados obtenidos nos muestran que un deshidratador solar requiere 720 minutos de tiempo de funcionamiento efectivo para alcanzar una cantidad de humedad final de 5% del interior del producto agrícola, mientras que un deshidratador de convección convencional requiere de un tiempo de 360 minutos a una temperatura de 55 °C o de 840 minutos a una temperatura de 50 °C, para lograr la cantidad similar de humedad interna final, es decir de un 5%. (Hernández R., Martínez V., Quinto D., Cuevas D., & Acosta O., 2010).

Capítulo II

Métodos y Materiales

1. Método teórico del deshidratador en bandejas

La metodología de deshidratado de productos agrícolas juega un papel muy importante en la industria de conservación de estos productos. En el uso de un deshidratador se requiere llevar el control de muchas variables físicas como: la pérdida de peso del producto agrícola, el tiempo de deshidratado, la humedad relativa en el interior de la cámara de deshidratado, la temperatura y la velocidad del aire de deshidratado.

Hay varios tipos de deshidratadores utilizados en la industria de conservación de productos agrícolas, como:

- a) Deshidratador de movimiento continuo.
- b) Deshidratador de movimiento contracorriente.
- c) Deshidratador de movimiento concurrente y
- d) Deshidratador de cama fija.

Los deshidratadores de bandeja de cama fija, son recomendados para el proceso de deshidratar verduras y frutas (FAO, 1991). Al deshidratar estos productos agrícolas, la altura de separación entre bandejas debe exceder los 6 cm, ya que estos productos contienen un alto porcentaje de humedad interior (superior al 80%), lo cual se considera como un medio adecuado para la oxidación del producto agrícola, la formación de hongos y su consecuente degeneración.

El deshidratador de bandejas está compuesto por una cámara de deshidratado que está equipada en su interior por bandejas perforadas. En estas bandejas se coloca el producto a ser deshidratado. También se encuentra un extractor, un calentador del aire que ingresa a la cámara y deflectores, los cuales aseguran una distribución uniforme del aire tanto dentro de la cámara como a través de las bandejas (Brennan, 2006).

La cámara de deshidratado es clave en el diseño del deshidratador de bandejas. La distancia entre las bandejas y la curva de deshidratado del producto agrícola, es decir, el comportamiento del producto durante el proceso de deshidratado, son factores importantes para su capacidad y funcionamiento adecuado. Es imprescindible realizar pruebas experimentales para determinar estas variables físicas, en diferentes condiciones de trabajo.

A continuación, en la Figura 2.1 se muestra un deshidratador de bandejas compuesto por un gabinete aislado térmicamente, con bandejas agujereadas. Este tipo de deshidratador puede procesar productos agrícolas diferentes, con un buen control de las condiciones de deshidratado. En capas delgadas (de 0.4 a 0.6 cm de grosor) se coloca el material que se deshidrata sobre bandejas que se cargan dentro del gabinete del deshidratador. Se calienta el aire que ingresa a la cámara y se lo hace circular entre las bandejas y a través del producto que se desea deshidratar, mediante el uso de un extractor de aire, colocado en la chimenea de la cámara de deshidratado.

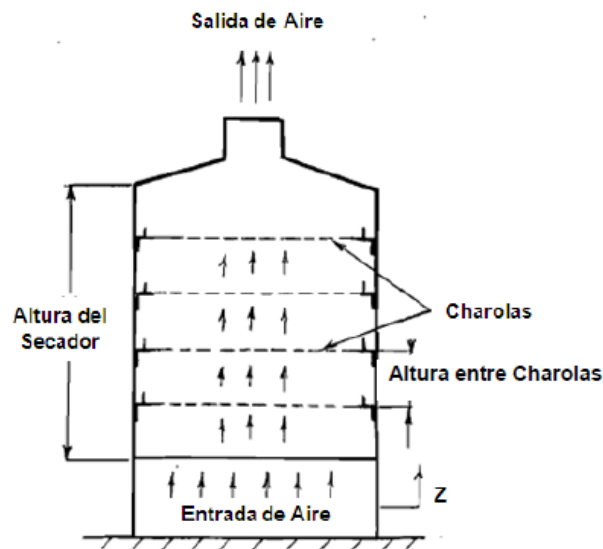


Figura 2.1. Deshidratador de bandejas.

Fuente: (Díaz Ayala, 2009)

El correcto desempeño de los deshidratadores de bandejas depende de mantener una temperatura invariable y una velocidad uniforme del aire de deshidratado, especialmente en el material que se está deshidratando. El fluido y la cantidad de aire necesario para estos deshidratadores depende mucho del tipo de extractor, de los desviadores ubicados adecuadamente en la estructura de la red de canales para manipular cambios bruscos de dirección. Uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los deshidratadores de bandejas es el fluido y cantidad de aire no uniforme. Este modelo de deshidratador puede ser del tipo de fila de bandejas, las cuales se colocan, en este caso en los topes de apoyo del deshidratador. Según las dimensiones del deshidratador, puede cambiar el número de las bandejas ubicadas dentro de la cámara. Estas bandejas pueden ser de distintas formas y tamaños (cuadradas o rectangulares), con un área de entre 0.20 y 0.75 m² por bandeja. Además, se fabrican con materiales aptos para soportar la

corrosión y la temperatura a la que van a ser expuestas. Como se colocan en una fila vertical, es necesario dejar un espacio de al menos 3.8cm entre el contenido de cada bandeja que está a continuación. Deben tener las bandejas agujeros en su base para estimar lograr una mayor área de deshidratación. Comúnmente, las bandejas metálicas son las favoritas por su alta capacidad de conducción del calor. Por lo regular, las bandejas varían de profundidad de 1 a 6 cm. Gracias a extractores centrífugos o de hélice, el aire en el interior de la cámara se hace circular (Foust *et al.* 2006).

Es de vital importancia la optimización de la corriente de aire, debido a que es la que está directamente en contacto con el producto agrícola para a si eliminar el contenido de humedad interna de dicho producto.

Con respecto a la temperatura del flujo de aire inicial, ella disminuye a medida que avanza en el deshidratador, a la vez que aumenta la humedad relativa del aire.

Para alcanzar un procedimiento de deshidratado óptimo, es necesario que la humedad relativa se aproxime lo máximo posible a la humedad de saturación. Para un efectivo procedimiento de este tipo, donde el hacer circular el aire tiene un precio muy importante, es indispensable determinar la corriente intensiva perfecta de aire para deshidratar el producto agrícola lo más rápido posible. Esta corriente intensiva, dependerá de factores como: la temperatura del aire usado para deshidratar dicho producto agrícola, la naturaleza del producto y otros más. Se puede establecer aproximadamente qué tan eficaz es el flujo de aire de ingreso de la cámara, si se registra las temperaturas en distintas partes de dicha cámara del deshidratador. El excelente flujo de aire para el deshidratado se logrará cuando, en el punto final del deshidratador, la humedad del aire es casi similar a la humedad de saturación. Este evento se producirá cuando la temperatura a la salida del deshidratador sea la misma a la temperatura del bulbo húmedo, a esta se denomina temperatura de equilibrio y es alcanzada, cuando la combinación del vapor de agua y del aire seco se enfría adiabáticamente hasta alcanzar la saturación. Esto corresponde a las condiciones iniciales de humedad y de temperatura de la corriente de aire en la entrada del deshidratador. Este equilibrio solo se logra al comienzo del proceso de deshidratado.

Teniendo en cuenta las ventajas del secado solar, se ha optado por construir un deshidratador de aire calentado por radiación solar tipo colector solar – cámara de secado.

a) Funcionamiento con aire natural

El aire calentado atraviesa el producto agrícola

b) Funcionamiento solar: Consiste en dos partes.

- Sistema de calentamiento (colector solar).
- Sistema de secado (cámara de secado).

A fin de obtener los efectos de las variables termodinámicas, se optó por la construcción de un deshidratador de aire calentado por radiación solar, para ello se necesitó un sistema que utiliza la radiación solar y el aire del ambiente por convección natural, en donde se colocó el producto agrícola (ají rocoto) fresco en bandejas dentro de la cámara de secado.

Consideraciones que se tomó para la construcción del deshidratador, las cuales fueron traducidas en parámetros valorados que se usaron en el proceso de cálculo y construcción del deshidratador y están agrupados de acuerdo a su carácter en:

a) Meteorológicas y Geológicas:

- Humedad relativa ambiental (Hr) : 77.15%
- Horas de sol (Hs) : 6 horas.
- Temperatura ambiental promedio (T) : 21.95 °C
- Velocidad del viento (V) : 3.97 m/s

b) Términos de Flujo:

- Temperatura del aire estimada a la salida del colector : 50 °C
- Velocidad aproximada del aire a través del colector : 2 m/s

Estos valores fueron tomados de estudios y trabajos experimentales realizados en nuestra región Lambayeque.

c) Del Producto:

El producto agrícola considerado es el Ají Rocoto, ya que es un picante sano y tiene propiedades culinarias en nuestra comida Lambayecana.

- Cantidad de producto fresco : 398.194 gr
- Contenido de Humedad
 - ✓ Inicial : 92.589 %
 - ✓ Crítica : 25 %
 - ✓ Final : 12.66 %
- Tiempo de secado asumido : 24 horas

El tiempo está distribuido en: 1 hora de precalentamiento, 6 horas de funcionamiento del sistema de aire caliente, 3 horas de enfriamiento y 14 horas con aire natural bajo sombra.

2. Materiales

Deshidratador solar

Se realizó el experimento de deshidratado de capa delgada en un deshidratador por difusión del calor, mediante la variación de densidad en los líquidos y gases más cálidos, la cual se dio de forma natural, Este deshidratador está compuesto por un colector, un conducto para el desplazamiento del aire y una cámara de deshidratado con bandejas al interior de ella.

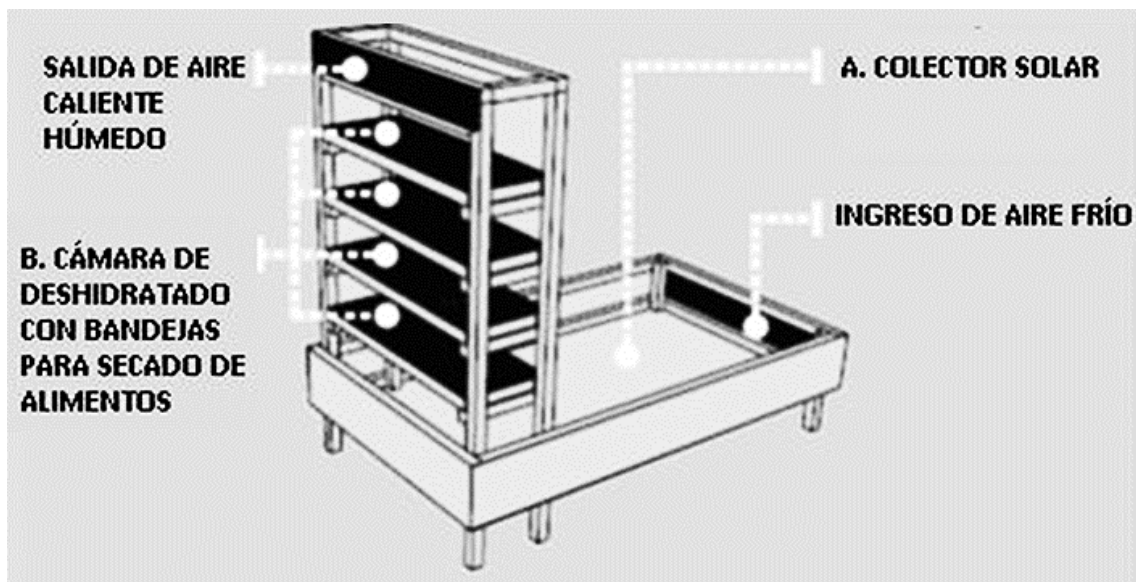


Figura 2.2. Componentes de un Deshidratador Solar.

a) Colector solar:

Para la estimación del área del colector se tomó datos surgidos del requerimiento y consideraciones de la construcción; estos son:

- ✓ **Intensidad de Radiación Global:**
Se obtuvo de los registros correspondientes que existen en la Estación Meteorológica de UNPRG, zona de ubicación del presente estudio y se expresa en unidades de medida de vatios por metro cuadrado (W/m^2).
- ✓ **Eficiencia del Colector:**
Se determina por la energía solar que incide y la energía útil que se puede extraer; la eficiencia varía a medida que cambia la radiación solar incidente y se expresa en unidades de porcentaje (%).

- ✓ Estimación del Área del Colector:
Se obtiene a partir de:

$$q = A_c N_c Rad \quad (9)$$

Donde:

q : Energía necesaria para calentar el aire de secado (W)

A_c : Área del colector (m^2)

N_c : Eficiencia de calentamiento del colector (44%)

Rad : Radiación solar ($899.67 W/m^2$)

El prototipo empleado consistió en una caja de madera de 1.00 m. de largo, 50 cm. de ancho y 20 cm. de profundidad, con cobertura de vidrio simple en la parte superior y dentro de la caja colectora una plancha metálica absorbente (calamina que se basa en la aleación de zinc, plomo y estaño) pintada de color negro, formando el ducto por donde pasará el aire que será calentado por dicha plancha. Tendrá una inclinación respecto a la posición del sol, la cual variará en diversas épocas del año.

b) Cámara de secado:

Es una estructura de madera, la cual tendrá una capacidad de 500 gr. de producto fresco, tiene 50 cm. de ancho, 60 cm. de alto y 15 cm. de profundidad; la cual estará unida a continuación del colector solar,

Para las bandejas se utilizó marcos de madera con malla metálica con 13 cm. de ancho y 48 cm. de largo. Con respecto a los orificios de entrada del aire natural fueron 5 y están ubicados en la cara inferior del colector solar, el orificio de salida de la cámara de secado, fue solo uno, por donde salió el aire caliente junto con la humedad extraída del producto; estos seis orificios en total comprenden un diámetro de 3 cm.

Toda esta estructura descansó sobre 2 pares de patas (delanteras de 30 cm. y traseras de 60 cm.) las cuales tienen una diferencia de medida de 30 cm., para nuestro caso y de acuerdo a la inclinación del sol debido a la ubicación de nuestra ciudad y la estación.



Figura 2.3. Medidas consideradas para la construcción del Deshidratador Solar.

El secador fue implementado con dos sensores de humedad y temperatura (DHT22-PCB), con el propósito de supervisar la humedad relativa y temperatura del aire de deshidratado en la entrada y salida de la cámara de deshidratado.



Figura 2.4. Sensor de Humedad y Temperatura (DHT22-PCB).

- Voltaje de Operación: 3V - 6V DC
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C
- Precisión de medición de temperatura: $\leq \pm 0.5$ °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH

- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Tiempo de sensado: 2s
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)
- Modelo: AM2302
- Dimensiones: 20*15*8 mm
- Peso: 3 gr.
- Carcasa de plástico blanco

Además, a través de un tercer sensor de Presión, colocado en el punto medio de la cámara de deshidratación, se logró obtener datos de Temperatura y altitud (BMP180-PCB).

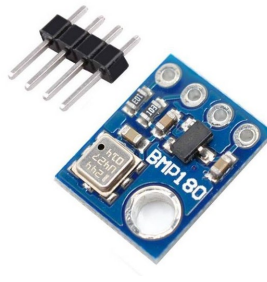


Figura 2.5. Sensor de Presión (BMP180-PCB).

- Voltaje de Operación: 3.3V - 5V DC
- Interfaz de comunicación: I2C (3.3V)
- Rango de Presión: 300 a 1100 hPa (0.3-1.1bar)
- Resolución: 1 Pa
- Precisión absoluta: 1 hPa
- Medición de temperatura incluida
- Resolución de temperatura: 0.1°C
- Precisión Temperatura: 1°C
- Rango de Temperatura: -40 hasta 85°C
- Frecuencia de Muestreo: 120 Hz (máx.)
- Rango de altura medible: 0-9100 metros
- Ultra-bajo consumo de energía
- Completamente calibrado

Los valores obtenidos de estos 3 sensores, fueron procesados por medio de una tarjeta adquisidora de datos (Arduino Mega-2560R3), la cual fue programada por una computadora personal.

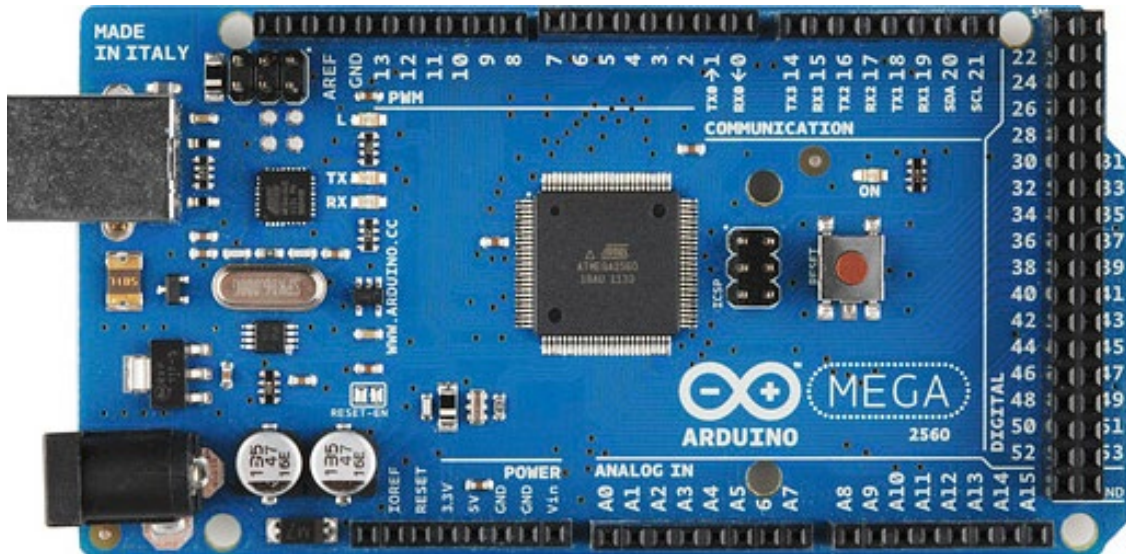


Figura 2.6. Tarjeta adquisidora de datos (Arduino Mega-2560R3).

Los valores obtenidos por los diferentes sensores fueron almacenados en una Tarjeta microSD instalada al Arduino.

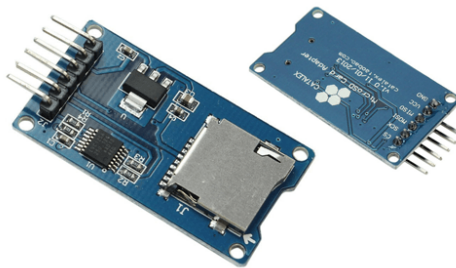


Figura 2.7. Tarjeta microSD.

El contenido de humedad del ají rocoto fue obtenido por diferencias de masas (peso de la muestra al inicio y al final del proceso), el ají rocoto fue rebanado en rodajas de entre 0.5 cm a 1 cm y colocado sobre charolas.

Durante el proceso de secado se determinó varias curvas, gracias a los datos obtenidos por Arduino Mega y tabulados en Excel, con las cuales se pudo observar los efectos de las variables termodinámicas en este proceso.

Capítulo III

Resultados y Discusión

Prueba De Humedad

- a) Determinación de la Humedad inicial de la muestra fresca

Se empleó la técnica de pérdida de peso en la estufa. Para ello, la muestra fresca tuvo un peso aproximado de 398.194 g, la muestra fue puesta en una cápsula limpia y seca, la cual se pesó antes.

Peso de muestra seca: 38.414 g., este fue el peso final de nuestro proceso.

Se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo del porcentaje de humedad de la muestra:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso de muestra fresca} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra fresca}} \times 100\%$$

Ecuación 10

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{398.194 - 38.414}{398.194} \times 100\%$$

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{359.78}{398.194} \times 100\%$$

Entonces la Humedad inicial fue de: 90.353 %.

- b) Determinación de la Humedad final de las Cenizas

Fue necesaria la utilización de crisoles limpios para este caso, los cuales fueron puestos en la estufa a una temperatura de 60 °C, hasta lograr que la diferencia entre pesadas no superara los 5 mg.

Se pesó una muestra seca de 4.984 g y se llevó al mechero para pre-calcinación.

Después, a dicha muestra se la calcinó en una mufla a 105 °C durante 1 hora, logrando obtener cenizas grises o blancas. El crisol con las cenizas fue dejado enfriar finalmente en un desecador y el peso fue registrado con una variación máxima de 5 mg.

Datos:

Tamaño de muestra (Mx)	:	4.984 g
Peso del crisol (Pc)	:	25.161 g
Peso inicial (Pc+Mx)	:	30.145 g
Peso Final (Pc+Mp)	:	29.514 g

El *Peso de muestra pulverizada* (Mp) fue de 4.353 g.

La siguiente fórmula fue utilizada para el cálculo del porcentaje de cenizas de la muestra:

$$\text{Humedad Final (\%)} = \frac{\text{Peso de muestra} - \text{Peso de muestra pulverizada}}{\text{Peso de muestra}} \times 100\%$$

Ecuación 11

$$\text{Humedad Final (\%)} = \frac{4.984 - 4.353}{4.984} \times 100\%$$

$$\text{Humedad Final (\%)} = \frac{0.631}{4.984} \times 100\%$$

$$\text{Humedad Final (\%)} = 12.66\%$$

Nuestro proceso de deshidratación logró dejar al producto agrícola con un 12.6 % de humedad final.

El análisis fue realizado por un Laboratorio de Ensayo en experimentos independientes.

Análisis estadístico de los datos

Hora	Prom. T1	Prom. H1	Prom. T2	Prom. H2	Prom. T3	Presión
10:50	43.3	56.8	38.2	74.9	43.4	1010.039
11:50	44.3	50.2	39.6	62.5	44.5	1009.585
12:50	43.0	44.1	38.0	57.9	43.1	1009.044
13:50	41.3	45.0	36.4	57.1	41.9	1008.228
14:50	40.3	43.8	35.9	56.5	41.0	1007.612
15:50	34.1	47.1	31.4	57.4	34.7	1007.332

Tabla 3.1

Donde:

- ✓ T1 es la temperatura de ingreso a la cámara de secado, en °C.
- ✓ T2 es la temperatura de salida de la cámara de secado, en °C.
- ✓ H1 es la humedad de ingreso a la cámara de secado.
- ✓ H2 es la humedad de salida de la cámara de secado.

La presión fue tomada con el sensor BMP180PCB en unidades de *hPa*, que también nos dio datos de una temperatura a la cual le asignamos T3, este sensor fue colocado en el centro de la cámara de secado.

Curvas Obtenidas con todos los datos

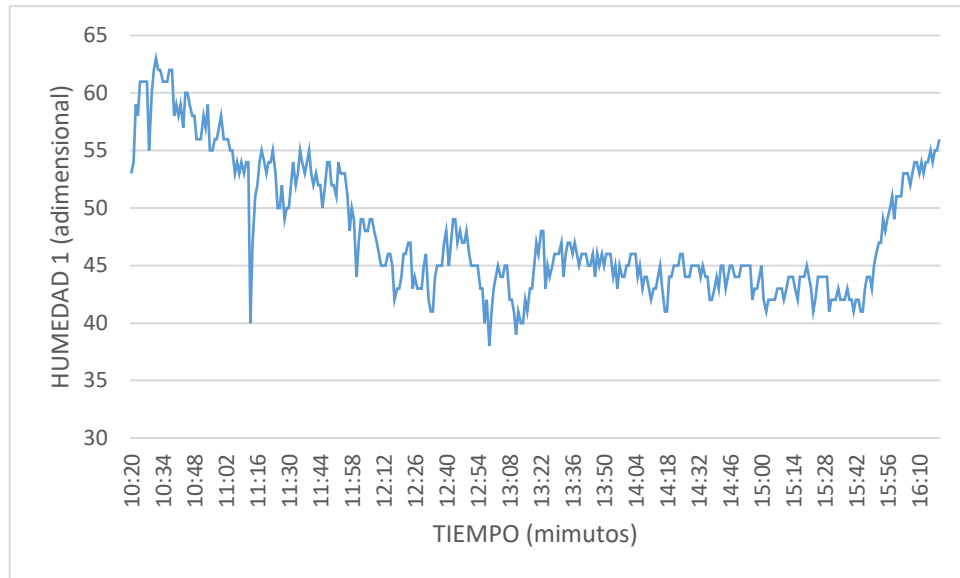


Gráfico 3.1. Humedad de entrada vs tiempo

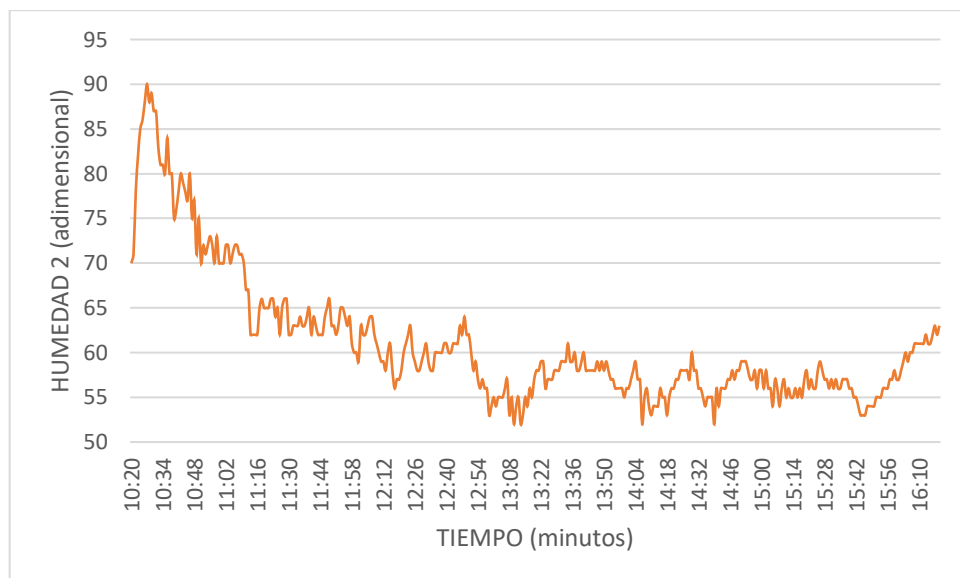


Gráfico 3.2. Humedad de salida vs tiempo

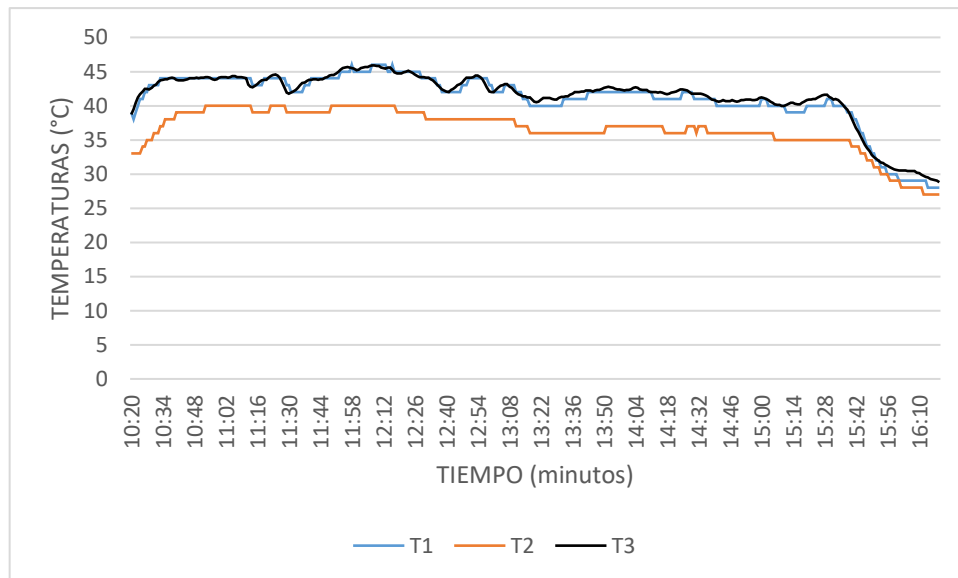


Gráfico 3.3. Temperaturas de entrada, interior y salida

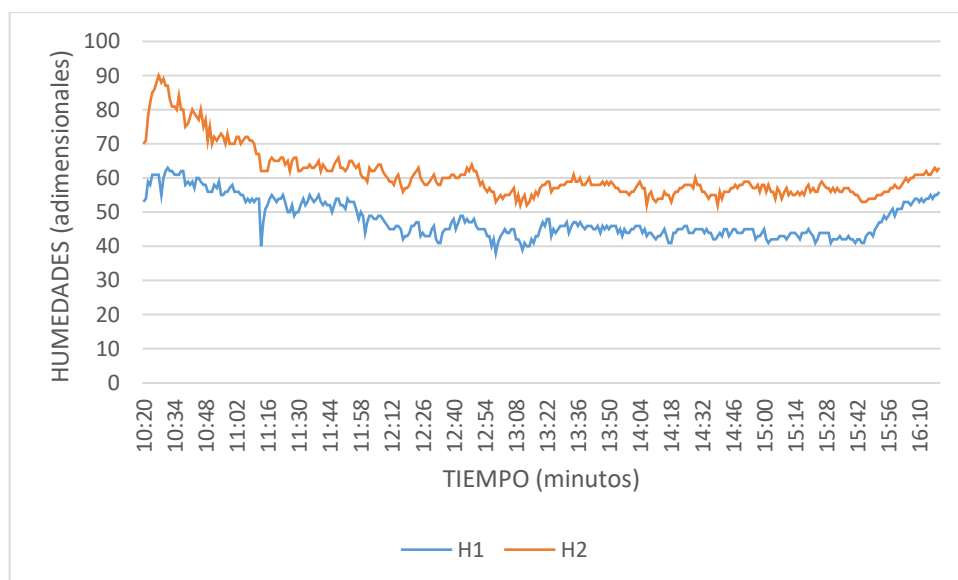


Gráfico 3.4. Humedades de entrada y salida

Capítulo IV

Conclusiones

- ✓ En el proyecto, la velocidad del aire no fue supervisada por medio de sensores, debido a que el flujo del aire no fue forzado, sino fue por medio de flujo natural.
- ✓ El tiempo de secado era afectado por la temperatura del ambiente, resultando que, en días más calurosos, el secado óptimo se logró en 6 horas.
- ✓ La humedad de salida de la cámara era mayor que la correspondiente a la entrada, debido a que el producto agrícola (Ají rocoto) se estaba deshidratando, es decir estaba perdiendo agua.
- ✓ Se logró dejar al producto agrícola con: **12.66 %** de humedad final, valor que se ubica dentro del rango establecidos para la conservación de este tipo de producto.
- ✓ Quedó demostrado: “A mayor presión, la temperatura se eleva”.
- ✓ Para los fines de este trabajo, se anotaron las condiciones iniciales y finales del secado para la deshidratación del ají rocoto, en rebanadas de entre 0.5 cm. a 1 cm. de espesor.
- ✓ El experimento de deshidratado de capa delgada se realizó en un deshidratador por convección natural, el cual consistió en un colector, un ducto para el desplazamiento del aire y una cámara de deshidratado con 3 bandejas al interior de ella.
- ✓ A la cámara de deshidratado se le implementó con sensores de Humedad, Temperatura y Presión, con la finalidad de monitorear la humedad relativa y temperatura del aire de secado en los puntos de entrada, centro y salida de la cámara. Estos resultados fueron registrados por medio de una tarjeta adquisidora de datos (Arduino Mega2560 R3), y almacenados en una memoria microSD instalada a la referida tarjeta.
- ✓ El contenido de humedad del ají rocoto se obtuvo por diferencias de masas (peso de la muestra al inicio y al final del proceso), de acuerdo a las ecuaciones **10** y **11**.

Capítulo V

Recomendaciones

1. De ser posible, la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, debería adquirir PROTOTIPOS de Equipos de Deshidratación, con el fin de facilitar la realización de futuros trabajos de investigación, y poder de esta manera comparar resultados de diversos días, en las diferentes estaciones del año.
2. Debería estudiarse este tema en CONDICIONES DE FLUJO DE AIRE FORZADO, para establecer los correspondientes comparativos.
3. Sería de especial interés, experimentar con otro tipo de tarjeta, para los comparativos del caso.
4. Asimismo, debería realizarse este tipo de investigaciones con otros productos agrícolas, con el fin de poder contar con una miscelánea de resultados, que nos permita establecer las respectivas correlaciones.
5. Podría experimentarse con un nuevo diseño de Deshidratador, a fin de obtenerse la respectiva comparación con los resultados obtenidos con el tipo de Deshidratador construido para la presente TESIS.

Referencias Bibliográficas:

- Aspurz Tabar, J. (2011). *Obtención de curvas de secado de tomillo (Tesis de Pregrado)*. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra.
- Díaz Ayala, F. (2009). *Estudio del Proceso de Secado de Nopal en una Columna de Charolas*. Cuernavaca, México: CENIDET.
- Giraldo Zuniga, A. D., & Arévalo Pinedo, A. (2009). *Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (Theobroma grandiflorum) en rodajas*. Palmas - TO, Brasil: Universidade Federal do Tocantins.
- Hernández R., J., Martínez V., O., Quinto D., P., Cuevas D., J., & Acosta O., R. (2010). *Secado de chile habanero con energía solar*. México: Universidad de Quintana Roo.
- López, A., Vírveda, P., & Abril, J. (1995). *Modelización Cinética de Secado de la Patata cortada en Láminas*. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra.
- Torregoza Espinoza, A. M. (2013). *Determinación de la influencia de la temperatura y velocidad del aire sobre las cinéticas de secado de tres variedades de yuca procesadas en la planta instalada en la vereda los algarrobos (Tesis de Postgrado)*. Córdoba, España: Universidad de Córdoba.

ANEXOS







INFORME DE ENSAYOS

N° 1453 - 2019

SOLICITANTE: WILLIAM RUBEN ROJAS MORALES
DIRECCIÓN: C/le. Pedro Ruiz N° 1328 - Lambayeque
CÓDIGO INTERNO DEL CLIENTE: OT 496 - 1
TIPO DE MUESTRA: Alimento: Ají Rocoto
IDENTIFICACIÓN/PROCEDENCIA: ---
FECHA Y HORA DE MUESTREO: 03/12/19
RECOLECTOR DE LA MUESTRA: Cliente
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN: 04/12/2019 09:00 **F. ANÁLISIS:** 04/12/2019
NUMERO DE SUB-MUESTRAS: 01 Bolsa de aproximadamente 250g
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
OBSERVACIONES: -

RESULTADOS:

a. Físico-Químico

ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDAD
1. HUMEDAD	12.6	%

MÉTODOS USADOS:

HUMEDAD

ADAC 935.29 Vol II, cap 27, pág. 23, 16 Edic. 1995. Moisture in soil, gravimetric method.

OBSERVACIONES

1. El informe de ensayo es válido sólo para la cantidad medida y muestra analizada.
2. El informe no se debe reproducir sin autorización del laboratorio, excepto a su totalidad.
3. El informe sin el símbolo de acreditación, se encuentra fuera del marco de la acreditación otorgada por el INACAL – DA.
4. Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL – DA.
5. Los ensayos acreditados del presente informe al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran fuera del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de INAC – EAC.
6. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



JEFE DE LABORATORIO - SINBIOL EIRL
Lic. Graciela Albino Cornejo - CBP 2452

Fin del Informe

Lambayeque, 11 de Diciembre de 2019

Programa en Arduino

```
#include <SPI.h> // incluye librería interfaz SPI
#include <SD.h> // incluye librería para tarjetas SD
#include <DHT.h> // incluye librería DHT de Adafruit
#include <DHT_U.h> // incluye Librería Adafruit Unified Sensor
#include <Wire.h> // incluye librería interfaz Wire
#include <Adafruit_BMP085.h> // incluye librería para BMP085 de Adafruit

Adafruit_BMP085 bmp;

#define SENSOR1 2 // constante SENSOR en pin digital 2 (senal de DHT22)
#define SENSOR2 7 // constante SENSOR en pin digital 2 (senal de DHT22)
int TEMPERATURA1; // variable para almacenar valor de temperatura1
int HUMEDAD1; // variable para almacenar valor de humedad1
int TEMPERATURA2; // variable para almacenar valor de temperatura2
int HUMEDAD2; // variable para almacenar valor de humedad2

void setup() {

#define SSPin 53 // constante SENSOR BMP085, en pin digital 53

File archivo; // objeto archivo del tipo File
DHT dht1(SENSOR1, DHT22); // objeto dht del tipo DHT en pin 2 y modelo DHT22
DHT dht2(SENSOR2, DHT22); // objeto dht del tipo DHT en pin 7 y modelo DHT22

Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps
if (!bmp.begin()) {
Serial.println("No se pudo encontrar el sensor BMP085, verifique el cableado!");
while (1) {}
}

dht1.begin(); // inicializacion de sensor1
dht2.begin(); // inicializacion de sensor2

Serial.println("Iniciando tarjeta ..."); // texto en ventana de monitor
if (!SD.begin(SSPin)) { // inicializacion de tarjeta SD
Serial.println("fallo en inicializacion !"); // si falla se muestra texto correspondiente y
return; // se sale del setup() para finalizar el programa
}
```

```

Serial.println("inicializacion correcta"); // texto de inicializacion correcta
archivo = SD.open("datos.txt", FILE_WRITE); // apertura para lectura/escritura de archivo
datos.txt

if (archivo) {
  for (int i=1; i < 361; i++){ // bucle repite 360 veces
    TEMPERATURA1 = dht1.readTemperature(); // obtencion de valor de temperatura1
    HUMEDAD1 = dht1.readHumidity(); // obtencion de valor de humedad1
    TEMPERATURA2 = dht2.readTemperature(); // obtencion de valor de temperatura2
    HUMEDAD2 = dht2.readHumidity(); // obtencion de valor de humedad2

    archivo.print(i); // escribe en tarjeta el valor del indice
    archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
    archivo.print(TEMPERATURA1); // escribe en tarjeta el valor de temperatura1
    archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
    archivo.print(HUMEDAD1); // escribe en tarjeta el valor de humedad1
    archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
    archivo.print(TEMPERATURA2); // escribe en tarjeta el valor de temperatura2
    archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
    archivo.print(HUMEDAD2); // escribe en tarjeta el valor de humedad2
    archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
    archivo.print(bmp.readTemperature()); // escribe en tarjeta el valor de temperatura3
    archivo.print(","); // escribe en tarjeta una coma
    archivo.println(bmp.readPressure()); // escribe en tarjeta el valor de Presion y salto de linea

    Serial.print(i); // escribe en monitor el valor del indice
    Serial.print(","); // escribe en monitor una coma
    Serial.print(TEMPERATURA1); // escribe en monitor el valor de temperatura1
    Serial.print(","); // escribe en monitor una coma
    Serial.print(HUMEDAD1); // escribe en monitor el valor de humedad1
    Serial.print(","); // escribe en monitor una coma
    Serial.print(TEMPERATURA2); // escribe en monitor el valor de temperatura2
    Serial.print(","); // escribe en monitor una coma
    Serial.print(HUMEDAD2); // escribe en monitor el valor de humedad2
    Serial.print(","); // escribe en monitor una coma
    Serial.print(bmp.readTemperature()); // escribe en monitor el valor de temperatura3
    Serial.print(","); // escribe en monitor una coma
    Serial.println(bmp.readPressure()); // escribe en monitor el valor de Presion y salto de
linea

```

```

    delay(60000);    // demora de 5 segundo
  }
  archivo.close();    // cierre de archivo
  Serial.println("escritura correcta"); // texto de escritura correcta en monitor serie
} else {
  Serial.println("error en apertura de datos.txt"); // texto de falla en apertura de archivo
}
}

void loop() {    // funcion loop() obligatoria de declarar pero no utilizada
  // nada por aqui
}

```