



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN
ENERGÍAS RENOVABLES

TESIS

“ANÁLISIS DE DESHIDRATADO DE PAPA Y
MALANGA A TRAVÉS DE SECADORES SOLARES”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO EN
ENERGÍAS RENOVABLES

PRESENTA

HÉCTOR LEONARDO BALBUENA LÓPEZ

YEINE RODRIGO DÍAZ VALENCIA

DIRECTOR

DR. LUIS ALBERTO HERNÁNDEZ DOMÍNGUEZ

Tuxtla Gutiérrez; Chiapas

Mayo de 2021





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 27 De Mayo De 2021

C. Hector Leonardo Balbuena López

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería En Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Análisis De Deshidratado De Papa Y Malanga A Través De Secadores Solares.

En la modalidad de: Tesis profesional.

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Luis Alberto Hernández Domínguez.

Dr. Neín Farrera Vázquez.

Dr. Gilber Vela Gutiérrez.

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 27 De Mayo De 2021

C. Yeine Rodrigo Díaz Valencia

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería En Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Análisis De Deshidratado De Papa Y Malanga A Través De Secadores Solares.

En la modalidad de: Tesis profesional.

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Luis Alberto Hernández Domínguez.

Dr. Neín Farrera Vázquez.

Dr. Gilber Vela Gutiérrez.

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Agradecimientos

Hector Balbuena

A Dios

Gracias por bendecirme, guiarme a lo largo de mi existencia, cuidarme en todo momento, ser el apoyo y fortaleza en todos los momentos de dificultad y debilidad; por esa oportunidad que me diste de ingresar y terminar esta etapa de mi vida, confiando en tu fe y darme la confianza de mi ser.

A Mis Padres

Gracias a Dios por tener unos excelentes padres, que me han guiado como persona que soy actualmente; muchos de mis logros se lo debo a ustedes en los que se incluye, principalmente este proyecto. Gracias por los consejos, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una buena educación en el transcurso de mi vida. El éxito es de ustedes, por sus esfuerzos y sacrificios estoy cumpliendo una meta en mi vida. Gracias por el apoyo y amor que siempre me brindan. Sobre todo, por ser un ejemplo de vida a seguir.

A Los Profesores

Les agradezco por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y los conocimientos que me transmitieron. Gracias al Doctor Luis Alberto Hernández Domínguez por brindarme la oportunidad de desarrollar la tesis profesional en la Facultad del Instituto De Investigación E Innovación En Energías Renovables, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este proyecto. Al igual a los maestros que nos apoyaron durante el proceso de la tesis profesional.

A Mi Compañero

Yeine Díaz, por ser un excelente amigo, colaborador y compañero de tesis, hacer los esfuerzos y tener esa paciencia necesaria para concluir el proyecto; por compartir esta experiencia y motivarnos para seguir adelante.

A Mi Familia Y Amigos

Por esa familia en la que tenemos momentos en la vida que son especiales por si solos. Compartir con las personas que quieres, los convierten en momentos inolvidables. Gracias por el apoyo incondicional en esta etapa de mi vida y no dejarme rendir durante mi proceso de formación. Por esos amigos con los que compartí dentro y fuera de las aulas, que se convierten en amigos de la vida que serán mis colegas, gracias por el apoyo y diversión.

Yeine Díaz

A Dios

Gracias por brindarme el privilegio de finalizar este proyecto con entusiasmo y valentía, por darme la oportunidad de contar con personas que contribuyeron en este aprendizaje académico en el momento adecuado, por acompañarme en seguir en buena dirección y siempre inspirarme a tomar buenas decisiones.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

A Mi Familia

Agradezco a Dios por haberme otorgado a una hermosa familia, que estuvo apoyándome principalmente con sus oraciones; a mis padres, Yeine y Concepción, que siempre me han apoyado emocional y económicamente poniendo su confianza en mí, inculcándome valores. A mis hermanos, Ivan, Ceci y Yuli, que siempre me animan y apoyan en todo.

A Mi Compañero De Tesis (Hector Balbuena)

Por compartir esta experiencia académica con dedicación, compromiso y entusiasmo, solucionando juntos las complicaciones que se presentaba durante el proyecto, siendo un buen compañero y amigo, agradezco la confianza brindada y deseo de corazón que sigan los éxitos tanto personal como profesionalmente, Dios te bendiga.

A Los Maestros

Agradezco la confianza y dedicación de cada profesor que me acompañaron en el aprendizaje del conocimiento durante la carrera, en especial a la Mtra. María Fernanda Moguel, por su buena labor en el aula de clase brindándonos confianza, cariño y su amistad.

Durante el proceso de la tesis agradezco al Dr. Roilan iglesias por brindarnos asesorías, a la Mtra. Yanhsy Hernández por apoyarnos con el espacio donde realizamos algunas pruebas; y al Dr. Gilber Vela, que nos apoyó con su conocimiento sobre la malanga y junto a la disponibilidad de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos.

Al Director De Tesis

Dr. Luis Alberto Hernández Domínguez por aceptar ser nuestro asesor y encaminarnos con su conocimiento y experiencia, enseñándonos a tener compromiso tanto en la vida profesional como en lo personal, agradezco infinitamente su apoyo.

Índice De Contenido

Resumen	15
Abstract	16
CAPÍTULO I: Generalidades	17
Introducción.....	17
Declaración Del Problema	18
Objetivos	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos	18
Justificación	20
Antecedentes	21
CAPÍTULO II: Marco Teórico.....	28
Introducción.....	28
El Sol	28
Energías Renovables.....	29
¿Qué tipos de energías renovables existen?.....	29
Radiación Solar.....	30
Características de la fuente.	31
La radiación solar extraterrestre y la constante solar.....	31
Irradiación solar en la superficie terrestre.....	31
Variables Básicas En La Caracterización De La Radiación Solar	32
Declinación solar.....	32
Ángulo horario.....	32
Altura solar.....	33
Altura de culminación.....	33
Duración del día.....	33
Ángulo de incidencia.....	34

Radiación Sobre Un Plano Inclinado.....	34
Energía Solar Térmica	35
¿Cómo llega la energía del Sol a nuestro planeta?.....	35
¿Cuáles son los principales usos de la energía solar?	36
¿Cómo funciona la energía solar térmica?	36
¿Cuáles son los tipos de aprovechamiento de la energía solar térmica?.....	37
Tipos De Colectores	37
Tipos De Secadores Solares.....	39
Tipo “carpa”.....	39
Tipo “armario”.....	40
Tipo “túnel”.	41
Sistemas mixtos.	42
Teoría Del Secado.....	42
Contenido De Humedad	44
Calor Latente	46
Ratios De Secado.....	47
Curvas de secado de un producto.....	47
Curva De Velocidad De Secado	49
Periodo De Velocidad Constante.....	51
Periodo De Velocidad Decreciente.....	52
Transferencia De Calor.....	53
Modos de transferencia de calor.	53
Área Superficial De Alimento En El Secador	55
Tiempo Y Temperatura.....	55
Ratio De Humedad	55
Ratio De Secado	56
Propiedades Psicométricas	57

Presión Total Del Aire Seco Y Del Vapor De Agua	58
Calidad Alimenticia.....	59
Características Del Producto.....	64
Papa.....	64
Malanga.....	64
CAPÍTULO III: Metodología	66
Equipos, Instrumentos Y Materiales A Utilizar	66
Pretratamiento Casero, Blanqueado/Escaldado Con Jugo De Limón	71
Pretratamiento En Laboratorio, Acidificación (Ácido Cítrico)	76
Pretratamiento Casero, Ácido Orgánico (Jugo De Limón Natural)	78
Curva De Secado	82
Aprovechamiento De Los Tubérculos Deshidratados	83
CAPÍTULO IV: Resultados Y Discusiones.....	84
Deshidratado De Papa Con El Método Casero De Blanqueado/Escaldado Con Jugo De Limón	84
Deshidratado De Papa Con El Método De Acidificación (Ácido Cítrico) En Laboratorio..	90
Deshidratado De Malanga Con El Método De Acidificación (Ácido Cítrico) En Laboratorio	94
Deshidratado De Malanga Con El Método Casero De Ácido Orgánico Con Jugo De Limón Natural	96
Discusión	100
CAPÍTULO V: Conclusión	103
Referencias.....	106
CAPÍTULO VI: Anexos.....	110
Cronograma De Actividades.....	110
Evidencia Fotográfica.....	113

Índice De Figuras

Figura 1. Variación de la irradiancia extraterrestre a lo largo del año.	31
Figura 2. Radiación solar en distintas formas.	36
Figura 3. Elementos de un colector solar térmico.	37
Figura 4. Sistema de circulación forzada.	38
Figura 5. Sistema termosifón.	38
Figura 6. Instalación forzada de circuito abierto y cerrado.	39
Figura 7. Secador solar directo tipo carpa.	40
Figura 8. Secador solar indirecto tipo armario.	41
Figura 9. Secador solar tipo túnel.	42
Figura 10. Secador de túnel con sistemas mixtos.	42
Figura 11: Transferencia de calor y masa en el secado.	43
Figura 12. Curvas de secado.	48
Figura 13. Representación esquemática de los cambios en contenido de humedad como en función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo para alimentos higroscópicos.	52
Figura 14. Representación esquemática de los cambios en contenido de humedad como en función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo para alimentos no higroscópicos.	52
Figura 15. Transferencia de calor.	55
Figura 16. Carta psicométrica.	58
Figura 17. Secador solar indirecto (tipo armario) (visto de un costado).	66
Figura 18. Secador solar indirecto (tipo armario) (visto de frente).	66
Figura 19. Secador solar directo (tipo armario) (visto de frente).	67
Figura 20. Secador solar directo (tipo armario) (visto de arriba).	67
Figura 21. Bascula gramera.	68
Figura 22. Multímetro (termopar).	68
Figura 23. Solarímetro.	69
Figura 24. Pelador de papa.	69
Figura 25. Cámara de secado (secador solar indirecto).	70
Figura 26. Estufa ecológica.	71
Figura 27. Rodajeando las papas.	72
Figura 28. Papas rodajeadas aproximadamente 3mm.	72

Figura 29. Preparación de estufa ecológica.....	73
Figura 30. Papas rodajeadas en agua hirviendo con el método de pretratamiento casero de blanqueado/escaldado.....	73
Figura 31. Medición del agua en su punto de ebullición con el termopar.	73
Figura 32. Agua de ácido cítrico casero (jugo de limón).	73
Figura 33. Papas acomodadas en las bandejas de la cámara de secado.	74
Figura 34. Peso del producto de muestra.	74
Figura 35. Medición de temperatura en la cámara de secado.	75
Figura 36. Temperatura de la cámara de secado.	75
Figura 37. Mandolinas de madera.	76
Figura 38. Ácido cítrico.	76
Figura 39. Rodajeando la papa con mandolina.	77
Figura 40. Papas rodajeadas en solución de ácido cítrico.	77
Figura 41. Peso total del producto antes del deshidratado.	77
Figura 42. Medición de temperatura en la cámara de secado.	77
Figura 43. Malanga (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>).	78
Figura 44. Malanga (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>) pelada.....	78
Figura 45. Peso total de la malanga.....	79
Figura 46. Rodajeando la malanga con pelador.	79
Figura 47. Exprimiendo limón en recipiente con un litro de agua.	79
Figura 48. Rodajas de malanga sumergidas en jugo de limón.	79
Figura 49. Colocando las rodajas de malanga en las bandejas del secador solar.....	80
Figura 50. Malanga colocada en el secador solar directo.....	80
Figura 51. Peso inicial de las muestras del producto.	80
Figura 52. Observación del producto deshidratado por la ventanilla del secador solar.....	81
Figura 53. Peso final de las muestras deshidratadas.	81
Figura 54. Producto deshidratado.....	81
Figura 55. Peso total del producto deshidratado.	81
Figura 56. Colocando el producto en las bandejas de la cámara de secado.	82
Figura 57. Medición de la radiación solar con el solarímetro.	82
Figura 58. Medición de temperatura en la cámara de secado en secador solar directo.....	82
Figura 59. Proceso de deshidratado del producto en secador solar directo.....	82
Figura 60. Peso total de la papa deshidratada.	83
Figura 61. Harina de papa.	83

Figura 62. Peso total de la malanga deshidratada.	83
Figura 63. Harina de malanga.	83
Figura 64. Gráfica de temperatura y radiación sobre el tiempo de la primera prueba.	85
Figura 65. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo en la segunda prueba del producto.	87
Figura 66. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la tercera prueba del producto.	89
Figura 67. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la cuarta prueba del producto.	91
Figura 68. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la quinta prueba del producto.	93
Figura 69. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la sexta prueba del producto.	95
Figura 70. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la séptima prueba del producto.	97
Figura 71. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la octava prueba del producto.	99

Índice De Tablas

Tabla 1. Variación diaria del ángulo horario en el hemisferio norte.	33
Tabla 2. Comparativa de los métodos de tratamientos previos.	63
Tabla 3. Contenido de humedad de algunos tubérculos y temperatura máxima tolerable.	65
Tabla 4. Resultados de la primera prueba de medición en secador solar indirecto sin producto.	84
Tabla 5. Resultados de la segunda prueba de medición de papa con grosor de 3 milímetros en secador solar indirecto con pretratamiento casero de blanqueado/escaldado.	86
Tabla 6. Resultados de la tercera prueba de medición de papa con un grosor de 2 milímetros en secador solar indirecto con pretratamiento casero de blanqueado/escaldado.	88
Tabla 7. Resultados de la cuarta prueba de medición de papa con un grosor de 2 milímetros en secador solar indirecto con pretratamiento de acidificación (ácido cítrico).	90
Tabla 8. Resultados de la quinta prueba de medición de papa con un grosor de 2 milímetros en secador solar directo con pretratamiento de acidificación (ácido cítrico).	92
Tabla 9. Resultados de la sexta prueba de medición de malanga con un grosor de 1 milímetro en secador solar directo con pretratamiento de acidificación (ácido cítrico).	94
Tabla 10. Resultados de la séptima prueba de medición de malanga con un grosor de 1 milímetro en secador solar indirecto con pretratamiento de ácido orgánico.	96
Tabla 11. Resultados de la octava prueba de medición de malanga con un grosor de 1 milímetro en secador solar directo con pretratamiento de ácido orgánico.	98

Índice De Ecuaciones

Ecuación 1. Irradiancia solar.....	31
Ecuación 2. Radiación global.....	32
Ecuación 3. Declinación solar.....	32
Ecuación 4. Ángulo horario.....	33
Ecuación 5. Altura solar.....	33
Ecuación 6. Altura de culminación.....	33
Ecuación 7. Duración del día.....	33
Ecuación 8. Ángulo de incidencia.....	34
Ecuación 9. Irradiancia extraterrestre.....	34
Ecuación 10. Irradiancia extraterrestre.....	35
Ecuación 11. Radiación extraterrestre horizontal.....	35
Ecuación 12. Contenido de humedad en base húmeda.....	45
Ecuación 13. Contenido de humedad en base seca.....	45
Ecuación 14. Relación entre humedad base húmeda y seca.....	46
Ecuación 15. Relación entre húmeda base húmeda y seca.....	46
Ecuación 16. Contenido en humedad instantáneo para cualquier tiempo.....	46
Ecuación 17. Contenido en humedad instantáneo para cualquier tiempo.....	46
Ecuación 18. Calor latente.....	47
Ecuación 19. Contenido de humedad.....	50
Ecuación 20. Presión parcial.....	50
Ecuación 21. Presión parcial.....	51
Ecuación 22. Periodo de velocidad constante.....	51
Ecuación 23. Transferencia de calor por conducción.....	53
Ecuación 24. Transferencia de calor por convección.....	54
Ecuación 25. Transferencia de calor por radiación.....	55
Ecuación 26. Ratio de humedad.....	56
Ecuación 27. Ratio de humedad.....	56
Ecuación 28. Ratio de secado.....	56
Ecuación 29. Humedad relativa.....	57
Ecuación 30. Humedad relativa.....	57
Ecuación 31. Humedad absoluta.....	57
Ecuación 32. Presión absoluta total.....	58
Ecuación 33. Presión parcial de aire seco.....	59
Ecuación 34. Presión parcial de agua.....	59

Resumen

En el presente trabajo de investigación se desarrolla un tema primordial dentro de las energías renovables como el de deshidratado para conservación de alimentos, secando tubérculos, tanto de la papa, como la malanga, utilizando la energía térmica con un secador solar innovador que tiene la capacidad de modificarse para ser directa o indirecta, siendo apto para múltiples pruebas deseadas, desarrollado en las instalaciones del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIER) de Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) ubicada en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. El proyecto lleva el nombre de “Análisis de deshidratado de papa y malanga a través de secadores solares”, abarcando temas básicos de la radiación térmica, tipos de colectores solares, tipos de secadores solares existentes, características de la papa y malanga, tipos de pretratamiento para una mejor deshidratación en los productos.

Se deshidrata papa en el secador solar con su configuración directa e indirecta para cada prueba y posteriormente el deshidratado de malanga, aplicando diferentes grosores en cada prueba y usando tres tipos de métodos de pretratamiento en los tubérculos para mejor calidad del deshidratado, se utiliza el método de blanqueado (escaldado), consiste en sumergir las rodajas del producto en agua en ebullición utilizando estufas ecológicas del IIER, el método de tratado de ácidos orgánicos, sumergiéndose solamente en solución de jugo de limón y con el método con acidificación (ácido cítrico), obteniendo mejores beneficios con las rodajas de 1 y 2 milímetros de grosor, en ambos métodos. Se presenta mejor calidad del producto, al mantener su olor y color en menor tiempo de secado, midiendo durante las pruebas de secado la temperatura, radiación, y gramos del producto, se analiza los resultados y se elabora la curva de secado en las diferentes pruebas; aprovechando el producto obtenido de buena calidad, se elabora una harina de papa y malanga para diferentes fines.

Palabras claves: Secador solar, tubérculos, curva de secado, energías renovables, energía solar térmica, radiación solar.

Abstract

In the present research work, a primary topic is developed within renewable energies such as dehydration for food preservation, drying tubers, both potato and taro, using thermal energy with an innovative solar dryer that has the capacity to be modified to be direct or indirect, being suitable for multiple desired tests, developed at the facilities of the Institute for Research and Innovation in Renewable Energies (IIIER) of the University of Sciences and Arts of Chiapas (UNICACH) located in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico . The project is called "Analysis of potato and taro dehydration through solar dryers", covering basic topics of thermal radiation, types of solar collectors, types of existing solar dryers, characteristics of potatoes and taro, types of pretreatment for better dehydration in the products.

Potato is dehydrated in the solar dryer with its direct and indirect configuration for each test and subsequently the taro dehydration, applying different thicknesses in each test and using three types of pretreatment methods on the tubers for better quality of dehydration, the method is used of blanching (blanching), consists of immersing the tuber slices in boiling water using ecological stoves of the IIIER, the organic acid treatment method, submerging only in lemon juice solution and with the acidification method (citric acid), obtaining better benefits with slices of 1 and 2 millimeters thick and in both methods. Better quality of the product is presented, by maintaining a better color and less drying time, measuring the temperature, radiation, and grams of the product during the drying tests, the results and elaboration of the drying curve in the different tests were analyzed, Taking advantage of the good quality product obtained, a potato and taro flour was made for different fines.

Keywords: Solar dryer, tubers, drying curve, renewable energy, solar thermal energy, solar radiation.

CAPÍTULO I: Generalidades

Introducción

El proceso de secado puede ser aplicado a todo tipo de alimentos, desde vegetales, hortalizas, frutas, especias, hierbas aromáticas, setas y hasta carnes; es una técnica muy conocida que se ha aplicado durante mucho tiempo, al uso de los sistemas de secadores solares usados para la conservación de alimentos, ha mostrado que es una opción práctica, económica y ambientalmente compatible, mejorando la calidad del producto, a la vez reduce desechos y combustibles tradicionales, utilizando una fuente de energía que es sustentable de la energía térmica solar que está disponible.

El presente trabajo está enfocado en la conservación de alimentos con los análisis de un secador solar para la deshidratación de tubérculos, siendo un método menos contaminante y natural en comparación de las técnicas que implementan actualmente las industrias alimenticias para el secado de tubérculos que son llevados a cabo mediante hornos eléctricos, por tener un alto nivel de humedad, se realiza el proceso de deshidratado de 1 a 2 días, que ocasiona un gran consumo de energías no renovables que impactan considerable en el medio ambiente al consumo de esta energía. Al implementar el secador solar para el deshidratado de tubérculos se utilizaría energía renovable la cual aprovecha la energía térmica del sol que está disponible diariamente siendo gratuita, ilimitada y amigable con el ambiente, incide a través del colector que se encarga de captar y transferir la radiación térmica del sol por medio de aire caliente hacia la cámara de secado donde se localizan los productos a deshidratar.

La *Colocasia esculenta* L. Schott, conocida comúnmente en cuba y en algunas regiones de México como malanga, es cultivada y consumida por algunas poblaciones Zoques del centro y mestizas; sin embargo, poco es aprovechada a pesar de que es posible cultivarlas sin ningún problema en patios o traspatios en los hogares. Se ha reportado que nutricionalmente aporta grandes beneficios a la salud debido a la presencia de minerales importantes como el hierro, calcio, fósforo en las hojas y tallos, y la presencia de almidón los cormos (Ferreira y col, 1990).

Declaración Del Problema

La industrialización alimentaria ha incrementado de manera perceptible en las últimas épocas gracias a la ciencia y tecnología de alimentos, que ha tratado de mejorar los procesos de la cadena alimentaria tanto como en las etapas del transporte, recepción, almacenamiento, procesamiento, conservación y del servicio de alimentos para el consumo humano, implicando muchos gastos en energías considerables altamente contaminantes. En el método de conservación para alimentos de origen vegetal se encuentra la deshidratación con equipos controlados como lo son los hornos eléctricos, que se considera de energía no renovable.

En las poblaciones rurales de Chiapas se cultivan variedades de vegetales como los tubérculos (la papa), al igual de cormos de malanga, ya que cuenta con climas cálidos. Estos vegetales son de mucha importancia en las dietas de cada ser humano, que lo consumen por su alto contenido de nutrientes; debido a la falta de variedades de consumo, limita a las nuevas generaciones tener mayor agrado a estos alimentos, para ello se necesita darle valor agregado, sin embargo, hay alimentos que existen por temporadas, en caso de la malanga, que se encuentra en pocas regiones y es escasa a comparación de la papa, se requiere emplear los métodos de conservación para mantenerlos más tiempo y aprovechar sus propiedades nutritivas.

Estos dos tipos de vegetales son alimentos con porcentaje de humedad alto, que para su deshidratación se requiere un periodo prolongado en horas de operación a temperaturas de 60 a 70 °C en equipos eléctricos notando la alta contaminación ambiental.

Objetivos

Objetivo General

- Deshidratar los productos (papa y malanga) utilizando la energía solar térmica eludiendo los hornos eléctricos, dando un valor agregado.

Objetivos Específicos

1. Analizar los diferentes sistemas de los secadores solares para el secado de papa y malanga.
 - Identificar los secadores solares que están hechos en el IIIER de la UNICACH.
 - Identificar los secadores solares que pueden ser usados y limpiarlos, arreglar sus componentes si es necesario.
 - Seleccionar los tipos de secadores para elaborar las pruebas de secado de papa y malanga.

2. Obtener mejor calidad de secado.

- Aplicar el método de pretratamiento más conveniente para los tubérculos a deshidratar para conservar el color del producto.
- Limpiar y cortar las rodajas de un solo grosor para tener una deshidratación homogénea y uniforme dentro de la cámara de secado.
- Hacer pruebas en secadores directo e indirecto para saber el comportamiento del producto físico, el tiempo que tardan en deshidratarse y el color del producto al someterlo a temperaturas superiores a 70 °C.

3. Analizar la curva de secado de la papa y malanga.

- Medir la temperatura en diferentes puntos dentro de la cámara de secado.
- Contar con una báscula para las mediciones del peso del producto durante el proceso de deshidratación.
- Pesar en la báscula una muestra de las rodajas antes de ser sometida al proceso de deshidratación, durante el proceso pesar la muestra en intervalos de tiempo (cada 10, 20 o 30 min.) hasta su deshidratación.
- Con los datos obtenidos de las mediciones de peso se calcula la humedad con la que se contará en cada medición y así graficar la curva de secado con forme a la humedad vs tiempo.

4. Mejorar el tiempo de secado en la papa y malanga.

- Analizar las diferentes técnicas de los cortes de las rodajas y pretratamiento del producto para disminuir el tiempo de deshidratación.
- Definir cuál técnica conviene más para cada tipo de secador solar.

5. Identificar estrategias y beneficios para el consumo de los tubérculos deshidratados.

- Obteniendo el producto deshidratado, guardar herméticamente en lugar seco.
- Definir cuál de los productos obtenidos de cada secador solar puede ser llevado a: harinas o frituras.

Justificación

La deshidratación de alimentos agrícolas por un método sustentable en secadores solares ha sido muy viable para el beneficio de las familias de zonas rurales, en la utilización de la energía térmica del sol, se ahorra el consumo de energético proveniente de combustibles fósiles, ayudando a contrarrestar la contaminación del medio ambiente al disminuir la generación de gases contaminantes. El estudio del secado de papa y malanga a través de secadores solares es muy escaso en la región de México, ya que hay más estudios en el secado de papa en hornos eléctricos o en cámaras de deshidratado con energías convencionales.

La papa y malanga, se constituyen como tubérculos llenos de beneficios y propiedades nutricionales, que contienen fibra dietética, carbohidratos y vitaminas, aptos para una buena salud. Estos alimentos se pueden encontrar fácilmente en zonas rurales en el estado de Chiapas, ubicado en el suroeste de México, puesto que se reproducen en zonas tropicales y semitropicales, estos tubérculos se pueden cosechar fácilmente en los traspatios de los hogares, son ideales para añadir a una dieta saludable, variada y equilibrada en forma de complementar una alimentación balanceada.

La malanga por ser un tallo alargado y su cultivo es uno por planta, en comparación de los tubérculos que producen varios en sus raíces, es la razón para la conservación de la malanga a través de su deshidratación con métodos más sustentables; con un secador solar se aprovecha la energía térmica del sol siendo una fuente inagotable y en su uso no altera al medio ambiente al contraste con el uso de la energía eléctrica. El uso de un pretratamiento antes de deshidratar el producto es para mantener sus propiedades, además de una acentuación del color natural, desarrollo del sabor y olor característico, reducción parcial de los microorganismos presentes. Favorece la retención de algunas vitaminas, como la vitamina C y disminuir las reacciones de oscurecimiento o pardeamiento para una buena calidad del producto obtenido y aprovecharlo adecuadamente; al procesar el producto deshidratado (harina), se puede almacenar por varios meses y usarla en diferentes momentos cuando se requiera, la harina de papa y malanga son utilizada para la producción de panes y tortillas, proveyendo opciones a los consumidores para su implementación en comidas cotidianas, elevando su contenido nutritivo.

Antecedentes

Actualmente hay muchos tipos de secadores que emplean técnicas de extracción de humedad por medio de calor, liofilización y ósmosis, pero el objetivo del secado es el mismo, evitar el crecimiento de bacterias y desarrollo de microorganismos en el producto para el consumo posterior del mismo.

En el mundo, se ha estudiado y desarrollado la técnica de secado para la preservación de alimentos ya que no requiere tantos químicos. Se han hecho estudios donde evaluaron las curvas de secado y la actividad de agua en bajo condiciones de diferentes temperaturas.

La deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente (Mascheroni y Rocaa, 2011).

- Se enfocó en el deshidratado de papas en cubos de 1 cm de arista en microondas y convección con aire caliente.
- Se enfocó en el estudio y análisis de las variables que afectan el secado de un producto hortícola como la papa, que se destinará a la elaboración de guisos. En primer lugar, el secado se llevó a cabo mediante la deshidratación osmótica y luego a través del secado combinado (microondas y convección con aire caliente). Se aplicaron diferentes modelos matemáticos a los datos experimentales a fin de representar los datos cinéticos obtenidos durante el proceso de secado.
- Detallando la curva de secado en la pérdida de agua en un corto tiempo.

La conservación de alimentos. Técnicas sencillas para preservar los alimentos en el hogar caliente (Mascheroni y Rocaa, 2011).

- Es un folleto que menciona los principales procesos de conservación que se aplican en el hogar (entre ellos la deshidratación solar de viandas).
- Menciona una guía para seleccionar o comprar alimentos y tratamientos previos a la conservación por deshidratación solar.

El manual para el uso de secadero solar de alimentos de la agencia provincial de promoción de energías renovables. Dirección general de energía renovable. Centro regional de energía eólica (Neculhueque y Paulí, 2004).

- Este manual habla sobre el manejo y uso del secadero solar.

- Mencionando; guía básica para manejo de algunos alimentos como; frutas, hortaliza, plantas aromáticas, hortalizas de raíces y tubérculos, carnes y entre otros.
- Menciona sobre la utilización de los alimentos secos.

Guía de usos de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes de Fundación Celestina Pérez de Almada (Almada, 2005).

Menciona:

- Cuáles son las técnicas para un secado correcto.
- Tipos de secaderos solares existen.
- Los pasos principales para secar alimentos.
- Cómo asegurar la calidad del secado.
- Cómo se carga el secadero solar.
- De qué depende el tiempo de secado
- Cómo se evalúa el fin del secado
- Cómo se envasan y almacenan los productos secos.

En los ensayos de secado en laboratorio de papa andina y papa criolla. Obtención experimental de coeficientes de secado. Del Grupo de Investigación y Desarrollo para la Agroindustria (GIDAI), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (Almada, 2005).

- Hacen una simulación del secado de productos agrícolas requiere disponer de información sobre el comportamiento del producto secándose y su interacción con el flujo de aire que interviene en el proceso, necesitándose para ello conocer las variables que intervienen; utilizando un secador de laboratorio que consta de un ventilador de Pc de 8 cm de diámetro que fuerza aire a temperatura y humedad ambiente dentro de un ducto de área circular de 10 cm de diámetro. El aire que circula por el ducto es calentado mediante una resistencia eléctrica de 200 W.

Duran, Albasa, Buonfiglio y Goldner (2018) aplicaron el uso de la energía solar para el secado de alimentos.

- En los últimos años se ha incrementado el secado de frutas, hortalizas, granos, etc. Que parece ser un campo natural dependiendo de las características climatológicas de la región, del producto y del sistema utilizado se ha encontrado que es recomendable o no, siendo el factor económico el principal indicativo para su utilización.

- El secado al sol se siguió utilizando como un proceso único, aunque se empezaron a crear sistemas de secado artificial.

Se elaboró un secador de tubo de madera, ubicado en resistencia (De Michelis y Ohaco, 1997).

- Estaba construido por un túnel colector de 60 m de largo, de sección semicircular, cubierto por un plástico transparente de baja densidad de 100 micrones de espesor, del tipo LD y con tratamiento UV.
- Sobre el piso del túnel se colocó un plástico negro de 200 micrones de espesor. Anexado del túnel había una cámara de secado de 12 m³ de capacidad y una chimenea de 12 m de alto.

El análisis de la curva de secado bajo condiciones de laboratorio (Almada, 2005).

- Se midió el cambio de masa y temperatura con el tiempo a base del muestreo, lo cual el proceso de secado es obtenido con estado estable teniendo la temperatura, la velocidad y el contenido de humedad absoluta de masa en el aire como constantes.
- Durante el secado es afectado por los factores externos como impurezas que alteran el equilibrio del secado al interaccionar con la superficie de las partículas.
- El tipo de curva que se mostró en el contenido a través del tiempo en el proceso de secado, en el periodo inicial del secado, el cambio de humedad en el material.

El sacado solar es la forma más antigua y saludable de conservar alimentos que el hombre ha utilizado la energía del sol para secar productos perecederos desde hace miles de años (Ceballos y Jiménez, 2012).

- Se ha hecho el secado solar natural o al aire libre ya que aprovecha las condiciones ambientales naturales para deshidratar los alimentos que remueve lentamente la humedad de los alimentos.
- Se construyó un deshidratador solar donde la energía del sol transforma en calor útil mediante efecto invernadero, que eleva la temperatura del aire contenido en una cámara donde se encuentra los alimentos convenientemente dispuestos en rejillas. El proceso de secado se realiza por acción del aire caliente que circula y pasa entre los alimentos.

Las curvas de secado son herramientas que se utilizan para representar el grado de humedad que contiene el producto durante el proceso de secado (Almada, 2005).

- Se desarrollaron dos tipos de curvas de secado con la finalidad de comparar el cambio entre el contenido de humedad contra tiempo y el ritmo de secado durante el tiempo.

Estudio de la papa y aportaciones en el mundo (Ventura, 2009).

- La papa uno de los aportes del Perú al mundo, que hoy en día es un producto que por su versatilidad se encuentra en las recetas de las más variadas cocinas a nivel mundial. En el mundo existen 5000 variedades y en Perú se encuentran alrededor de 3000.
- El tercer tipo de tallo de la papa es subterráneo y se halla engrosado como una adaptación para funcionar como órgano de almacenamiento de nutrientes, el tubérculo.

Estudios de tubérculos, origen de la malanga (Tubérculos, 2013).

- La malanga se remonta a la sociedad neolítica. Es una planta perteneciente a la familia Araceae, teniendo según algunos estudios de tubérculos, dos géneros por motivos geográficos: el género Colocasio, originario del sureste de Asia y el género que se desprende productos similares como el taro y otros parecidos a la malanga.
- También ha sido cultivada en África Occidental, pero es una planta autóctona de América tropical especialmente América Central y Sur; y en las Islas de Caribe, de ahí es un producto que tiene gran acogida entre sus habitantes, como producto básico de su dieta diaria alimenticia.

Los tipos de secado solar en los productos alimenticios (Montero, 2005).

- Se hizo el proceso de secado en aire, vapor sobrecalentado, en vacío, en gas inerte y por la aplicación directa de calor.
- Ofrece al productor una amplia gama de oportunidades para lograr un tratamiento adecuado de su producto.

Montero (2005) usó la aplicación de los secadores solares. Dependiendo de cómo se transmite la energía del producto, los secadores solares pueden clasificarse en: secadores de radiación solar directa, de radiación infrarroja, de conducción de calor y de convección de calor.

Las formas de calentamiento solar en los elementos básicos de un secador solar (Suazo, 2006).

- El colector donde la radiación solar calienta al aire y la cámara de secado donde el producto es deshidratado por el aire que pasa.
- El tipo de secador que se originó fue el secador indirecto, ya que su primera ventaja fue el control de proceso es más simple.

- El secador solar directo, ya que la radiación es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua.

Vidal, Velázquez, Iñaki y Ortega (2012) desarrollaron una prueba en prototipo de secador solar. En el diseño se determinó la ciencia y la técnica, la reducción de los recursos energéticos en los últimos años y el incremento de la contaminación ambiental han incentivado la creación de los diseños más eficientes en el campo de las energías renovables.

- Se buscó investigar y desarrollar prototipo de secaderos a distinta escala y materiales, que fueron aplicados y probados en terreno.
- El proyecto se utilizó básicamente en dos tipos de secaderos: De gabinete y tipo túnel.

Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos, en procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala. Se diseñó un equipo de deshidratación para eliminar agua de un alimento de manera eficaz (Méndez, 2017).

- Se tuvieron en cuenta los diversos procesos y mecanismos que tienen lugar en el producto y en el equipo.
- Diseño de bandejas para el secado de una manera “inclinada”.

Harina de tubérculo “yuca” para el consumo humano en Colombia (Wheatley, Scott, Best y Wiersema, 1997).

- Se desarrolló un prototipo y prueba de equipo para el procesamiento para modulas tandas y medias tandas, cuya capacidad era de 1 tonelada de harina de yuca por día.
- El rendimiento de harina fue a partir de trozos de yuca seca, varió de 83% en una versión de laboratorio, a 98% en un molino industrial.
- Con la evaluación económica de los resultados de la investigación demostró que era factible la producción de harina de yuca.

Modelado y construcción de un secador solar híbrido para residuos biomásicos (Montero, 2005).

- La utilización térmica de los residuos de almazara se considera la alternativa con mayores perspectivas actuales y futuras. El proceso de secado es el pre tratamiento necesario, más importante y que mayor consumo energético representa, para la utilización térmica de los subproductos agroindustriales de alta humedad.

- Se caracterizó el funcionamiento de sistema de secado adaptado a los diferentes residuos, optimización de la operación individualizada del colector y la cámara de secado y la selección del caudal de aire óptimo para el funcionamiento en convección forzada.
- Se llevó a cabo el análisis de la curva de secado natural de los subproductos, para la comparación con el secador solar en el prototipo y el análisis de diferentes parámetros de influencia en el proceso.

Diseño, construcción y caracterización de prototipo de deshidratador solar para productos agrícolas (Ceballos y Jiménez, 2012).

- Se diseñó un horno de secador, utilizando la energía solar para deshidratación de granos de maíz para una capacidad por periodos de deshidratación equivalentes a 50 quintales y la prueba del funcionamiento del prototipo.
- El secado se realiza para inhibir la germinación de las semillas, reducir el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento de los hongos, y evitar las reacciones de deterioro.
- En el proceso de secado generalmente se calentó el aire ambiental, para que el secado de los productos sea más rápido.

De La Torre y Portilla (2015) diseñaron y construyeron un prototipo de secador solar para el Capsicum Annum (Ají) con colector en lecho de rocas con una capacidad de 25 kg. Se determinó la humedad y la curva de secado del Ají.

- Se diseñó la cámara de secado y se estableció el número de bandejas requeridas.
- Simulación del comportamiento térmico del colector de energía.
- Se evaluó el comportamiento térmico del sistema mediante pruebas de operación y se analizó los resultados adecuados.

Monreal (2001) determinó las curvas de secado para dos variedades de camote (ipomoea batata) camote morado, camote naranja.

- Se evaluó las curvas de secado para ambos tubérculos, (evaluación de la pérdida de humedad de camote en función del tiempo, variación de contenido de humedad en base seca de camote en función de tiempo, variación de velocidad de secado de camote en función de contenido de humedad libre y el contenido de humedad en base seca en función de la humedad relativa).

- Se comparó las tendencias obtenidas para el camote morado con las obtenidas para el camote naranja.
- Se monitoreó la pérdida de humedad para el camote morado y el camote naranja durante el proceso de secado para tres tipos de geometrías de corte (rodajas, julianas y cubos).

En la Escuela de Ingeniería Química con dos trabajos de graduación relacionados con el secado de tubérculos: Se diseñó una línea de producción para la elaboración de harina de camote (De La Torre y Portilla, 2015).

- Se realizó la planificación para el montaje de una línea de fabricación de harina, haciendo adicionalmente, un estudio de las propiedades alimenticias y un análisis sensorial de la misma.
- Se realizó una serie de análisis, tales como: el proximal y cromatografía HPLC, una serie de encuestas evaluando la aceptación de los productos obtenidos a partir de la harina de camote.
- Se realizó curvas de peso en función del tiempo para evaluar la eficiencia de secado para tres diferentes cortes del tubérculo.

López, Díaz y Vela, (2019) en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales de la UNICACH, realizaron el deshidratado de malanga en un horno de secado convencional para obtener harina.

- Los cortes de las rodajas fueron aproximadamente de 3 milímetros con mandolina.
- Se realizó una solución de ácido cítrico al 10% por un periodo de 15 minutos de reposo.
- La temperatura del horno convencional se evaluó a 62 °C constantemente, por un tiempo de deshidratado en 24 horas.
- Se realizó la trituración del producto deshidratado en una licuadora industrial, posteriormente, se tamizó para obtener la harina.

CAPÍTULO II: Marco Teórico

Introducción

El secado natural ha sido utilizado desde tiempos inmemorables para secar una gran variedad de productos. Sin embargo, para la producción a escala industrial este sistema presenta ciertas limitaciones (necesidades de grandes superficies, elevado coste de mano de obra, dificultades en el control del proceso de secado, etc). Con objetivo de aprovechar los beneficios de la fuente solar; se han realizado numerosos intentos en los últimos años para el desarrollo de secaderos solares en productos agrícolas y forestales.

Entre las ventajas que presenta el secado solar, la más destacada se basa en la energía que utiliza, es decir, una fuente no contaminante, renovable y que puede utilizarse a escala local.

No obstante, el secado solar entraña un gran inconveniente: el carácter periódico de la radiación solar y la variación de la intensidad de la radiación incidente en función del tiempo, siendo ésta una circunstancia que requerirá una estrategia de diseño y control adecuada para posibilitar el secado efectivo. Aun así, esta dificultad puede solucionarse por ejemplo con la utilización de alguna fuente auxiliar.

Otro problema destacable del secado solar está en la baja densidad energética de la radiación solar, que dará lugar a la necesidad de superficies colectoras de gran tamaño. Por otro lado, además de las ventajas conseguidas medioambientalmente, será necesario tener en cuenta el coste y la rentabilidad de la instalación, condicionadas, en gran medida, por las circunstancias geográficas que determinan la intensidad de la radiación incidente y el número de horas de Sol.

El Sol

El sol es el centro del sistema solar en el que se encuentra la Tierra. Es el responsable de proveer luz, calor y energía a los seres vivos. Es, desde esta perspectiva, el motor de la existencia en el planeta de la vida y el generador de los climas en otros planetas. En realidad, el Sol es una estrella más en el vasto e insondable universo. Únicamente es esencial para el sistema solar en el que la Tierra se circunscribe. Sin embargo, es la estrella más grande de este sistema y posee características que lo hacen muy complejo e interesante. Es tan grande que representa poco más del 99% de la masa total del Sistema Solar. Se encuentra a unos 150 millones de kilómetros de la Tierra y consiste en una esfera llena de gases calientes, principalmente hidrógeno y helio. Se formó hace unos 4,567 millones de años como consecuencia de un colapso gravitatorio a partir de una nube molecular, sus características son:

Masa: 1.9891×10^{30} kg.

-Volumen: 1,409,272,569,059,860,000 km³.

-Densidad: 1.409 g/cm³.

-Temperatura efectiva: Aproximadamente 5,504° Celsius.

-Velocidad de órbita: 220 km/s.

La cantidad de energía solar recibida anualmente por la tierra 1.5×10^{18} kWh, representa 10,000 veces el consumo de energía en ese mismo periodo, esto se interpreta como que además de que el Sol es el actor principal de los procesos biológicos en la tierra, este puede ser considerado una fuente inagotable de energía la cual puede ser aprovechada mediante un adecuado sistema de captación y conversión a otro tipo de energía, por ejemplo, energía eléctrica, térmica, entre otras (Blanco, 2009)

Energías Renovables

Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida. Por ejemplo, la energía solar, la energía eólica, la energía térmica o la energía mareomotriz son fuentes renovables de energía. También se consideran renovables cuando se obtienen a partir de fuentes que se regeneran con el tiempo de manera natural, como la masa forestal (Acosta, 2018).

Una de las principales ventajas de las energías renovables es que, además de ser inagotables, presentan un nulo o bajo impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que se consideran energías limpias. En la actualidad las energías renovables son una realidad presente en nuestra sociedad y sus beneficios para el medio ambiente son más que evidentes (Acosta, 2018).

Todas las sociedades del planeta son consumidoras de energía en mayor o menor medida, pero la realidad es que la mayor parte de la energía que se consume procede de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles y la energía nuclear, cuyo impacto negativo sobre el medio ambiente es superior. Un aspecto a destacar de las energías renovables es que pueden ser aplicadas y explotadas a nivel local, lo que ayuda a disminuir la dependencia de las poblaciones hacia los grandes productores de energía, favoreciendo el desarrollo económico y la creación de empleo (Acosta, 2018).

¿Qué tipos de energías renovables existen? Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias encontramos (Dickey, 2018):

- Energía eólica: la energía que se obtiene del viento.
- Energía solar: la energía que se obtiene del sol. Las principales tecnologías son la solar fotovoltaica (aprovecha la luz del sol) y la solar térmica (aprovecha el calor del sol).
- Energía hidráulica o hidroeléctrica: la energía que se obtiene de los ríos y corrientes de agua dulce.
- Biomasa y biogás: la energía que se extrae de materia orgánica.
- Energía geotérmica: la energía calorífica contenida en el interior de la Tierra.
- Energía mareomotriz: la energía que se obtiene de las mareas.
- Energía undimotriz u olamotriz: la energía que se obtiene de las olas.
- Bioetanol: combustible orgánico apto para la automoción que se logra mediante procesos de fermentación de productos vegetales.
- Biodiésel: combustible orgánico para automoción, entre otras aplicaciones, que se obtiene a partir de aceites vegetales.

Radiación Solar

En lo que respecta al secado solar, la caracterización de la radiación disponible en el lugar resulta fundamental para el diseño y control óptimo del funcionamiento de los dispositivos de secado. Pese a ser el de la radiación solar un tema ampliamente difundido, en este apartado se pretende dar una visión general de algunos conceptos específicos sobre la misma, que serán aplicados posteriormente en el análisis de los ensayos realizados en el prototipo de secadero solar (Duffie y Beckman, 1991).

En adelante se utilizará indistintamente el término radiación solar, como es común en la práctica, para referirse a la potencia o a la energía entregada por el Sol. Las definiciones precisas de ambos términos son las siguientes (Duffie y Beckman, 1991).

- Irradiancia. (Potencia de la radiación): Es la energía incidente sobre una superficie por la unidad de tiempo y área. Se representa habitualmente por I y sus unidades en el S.I son $\frac{W}{m^2}$.
- Irradiación. (Energía de la radiación): Es la energía incidente sobre una superficie por unidades de área, durante un determinado periodo de tiempo. Se identifica generalmente por H y sus unidades en el S.I son $\frac{J}{m^2}$.

Características de la fuente. El Sol, desde el punto de vista físico constituido por un 70% de H_2 , es un enorme reactor nuclear que irradia continuamente una potencia de $3.8 \times 10^{23} kW$. De esta cantidad la Tierra intercepta con $1.7 \times 10^{14} kW$, siendo el 30% de la radiación recibida reflejada al espacio, el 47% absorbida para mantener la temperatura ambiente y el 23% restante utilizado para mantener la convección atmosférica y el ciclo hidrológico (Blanco, 2002).

La radiación solar extraterrestre y la constante solar. Antes de llegar a la superficie terrestre, la radiación solar sufre una serie de transformaciones al atravesar la atmósfera. A la radiación solar existente antes de entrar en la atmósfera se le denomina radiación solar extraterrestre. La irradiancia solar total que incide sobre una superficie normal a los rayos solares situada en el exterior de la atmósfera (I_s), varía entre 1322 y 1412 $\frac{W}{m^2}$ (Figura 1) como consecuencia de la diferente distancia del Sol a la Tierra en los distintos días del año. De esta forma, se define como la constante solar (I_{cs}), como el valor medio de la radiación solar extraterrestre, siendo su valor más aceptado de 1367 $\frac{W}{m^2}$ (Duffie y Beckman, 1991).

En función de la constante solar, la irradiancia solar extraterrestre normal a la radiación, a lo largo del año, viene dada por la ecuación (1) (Duffie y Beckman, 1991):

Ecuación 1. Irradiancia solar.

$$I_s = I_{cs} \left[1 + 0.033 \left(\frac{360 \times n}{365} \right) \right] \quad (1)$$

Donde:

n = el número de día del año (1 para el 1 de enero y 365 para el 31 de diciembre).

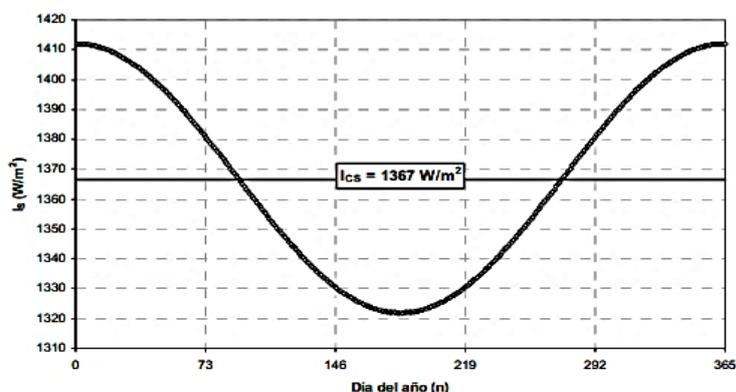


Figura 1. Variación de la irradiancia extraterrestre a lo largo del año.

Irradiación solar en la superficie terrestre. Como consecuencia de las diferentes regiones y composición de la atmósfera, como ya se ha indicado, no toda la energía extraterrestre llega

a la superficie de la Tierra, modificándose su naturaleza y, sobre todo, su componente direccional. Así, la radiación global (H_G) (ecuación 2), que incide sobre una superficie inclinada en la Tierra consta de tres componentes (Duffie y Beckman, 1991):

- Radiación directa (H_B): es la que proviene “directamente” del disco solar sin sufrir alteraciones, suponiendo esta el 90% de la radiación global en días muy soleados y prácticamente nula en días cubiertos.
- Radiación difusa (H_D): es la energía dispersada por los componentes atmosféricos.
- Radiación reflejada (H_R): también denominada albedo, es la que llega a una superficie inclinada procedente de la reflexión solar en el suelo.

Ecuación 2. Radiación global.

$$H_G = H_B + H_D + H_R \quad (2)$$

Variables Básicas En La Caracterización De La Radiación Solar

Dos ángulos, que nos marcan los movimientos de traslación y rotación de la Tierra, son fundamentales para la obtención de la radiación solar incidente: la declinación solar, debida al movimiento de traslación y el ángulo horario, provocado por el movimiento de rotación. Además de éstos, ángulos como la latitud (l), la altura solar (h), el ángulo de incidencia (θ), etc, son necesarios para la determinación de esta radiación incidente. A continuación, se presentan las ecuaciones básicas de algunos de ellos (Duffie y Beckman, 1991).

Declinación solar. El eje de rotación de la Tierra forma con el eje normal plano de la elíptica un ángulo constante igual a 23.5° . Debido a esto, el ángulo de los rayos solares con el plano del ecuador, denominado solar (δ), varía entre 23.45° (solsticio de verano) y -23.45° (solsticio de invierno), expresando mediante la ecuación (3) para un día cualquiera del año (n) (Duffie y Beckman, 1991):

Ecuación 3. Declinación solar.

$$\delta = 23.45 \times \text{sen} \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (3)$$

Ángulo horario. Denotado por (w_h), el ángulo horario es el formado en el ecuador, comprendiendo entre el plano meridiano de la Tierra que contiene al Sol y el contiene al observador del lugar. Para su aplicación práctica se utiliza la expresión (4), considerando que a cada hora le corresponde una distancia de 15° , siendo igual a cero al mediodía solar, negativo

antes del mediodía solar y positivo después del mediodía solar. En la siguiente tabla 1 se muestra el valor de dicho ángulo horario para cada hora en el hemisferio norte (Duffie y Beckman, 1991).

Tabla 1. Variación diaria del ángulo horario en el hemisferio norte.

Hora del día (h)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ángulo horario (°)	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90

Ecuación 4. Ángulo horario.

$$\omega_h = n_h \times 15^\circ \quad (4)$$

Donde:

n_h = el número de horas antes o después del mediodía solar.

Altura solar. La altura solar (h) (ecuación 5), es el ángulo existente desde el plano del horizonte hasta la posición del sol (Duffie y Beckman, 1991).

Ecuación 5. Altura solar.

$$\text{sen } h = \text{sen } l \times \text{sen } \delta + \text{cos } l \times \text{cos } \delta \times \text{cos } \omega_h \quad (5)$$

Altura de culminación. Se define la altura de culminación (hc) (ecuación 6), como la máxima altura diaria, esto es, la que alcanza el Sol en el mediodía (Duffie y Beckman, 1991).

Ecuación 6. Altura de culminación.

$$hc = 90 - (l - \delta) \quad (6)$$

Duración del día. El número de horas de sol, para cada día del año, se puede determinar a partir de la hora de salida y puesta de Sol, siendo estas de igual valor y de signo contrario ($+\omega_s$ y $-\omega_s$) expresada en la ecuación (7) (Duffie y Beckman, 1991).

Ecuación 7. Duración del día.

$$\omega_s = \arccos(-\text{tg } \delta \times \text{tg } l) \quad (7)$$

Ángulo de incidencia. Se denomina ángulo de incidencia (θ) (ecuación 8), sobre una superficie en un punto, al que forma la dirección de la radiación solar directa y la normal en ese punto a la superficie considerada. Para determinarlo, es necesario conocer otros ángulos como son la latitud (l), la declinación solar (δ) y el ángulo horario (ω_h) (Duffie y Beckman, 1991).

Ecuación 8. Ángulo de incidencia.

$$\cos \theta = \text{sen} l \times \text{sen} \delta + \text{cos} l \times \text{cos} \delta \times \text{cos} \omega_s \equiv \text{sen} h \quad (8)$$

Radiación Sobre Un Plano Inclinado

La mayoría de los datos disponibles sobre radiación solar se dan para superficie horizontal (H o L) siendo, además, raramente conocidos estos valores en sus dos componentes (directa y difusa), por lo que será necesario determinar estos últimos a partir de valores globales (Duffie y Beckman, 1991).

Y al mismo tiempo, puesto que en la mayoría de las aplicaciones solares es necesario conocer la radiación incidente sobre la superficie receptora, habitualmente inclinada un ángulo (β), será necesario transformar los valores de las componentes sobre superficie horizontal a valores sobre superficie inclinada (Duffie y Beckman, 1991).

Conocida la radiación global sobre una superficie horizontal en sus dos componentes, directa y difusa, existen diversos métodos y modelos matemáticos para determinar la radiación global sobre una superficie inclinada (Duffie y Beckman, 1991).

En primer lugar, es necesario determinar la exposición solar terrestre sobre una superficie horizontal. En el caso de disponer de valores diarios, la irradiancia extraterrestre horaria en superficie horizontal (I_0), se determina mediante la siguiente ecuación (9 y 10), siendo (θ), el ángulo de incidencia e (I_{sn}) la irradiancia extraterrestre normal a la radiación. En una latitud dada y para cada día del año, a cada hora solar le corresponde un valor diferente de (I_0) (Duffie y Beckman, 1991).

Ecuación 9. Irradiancia extraterrestre.

$$I_0 = I_{sn} \times \cos \theta \equiv \text{sen} h \quad (9)$$

Ecuación 10. Irradiancia extraterrestre (10)

$$I_0 = I_{cs} \left[1 + 0.033 \left(\frac{360 \times n}{365} \right) \right] \times (\text{sen}l \times \text{sen}\delta + \text{cos}l \times \text{cos}\delta \times \text{cos}\omega_h)$$

Si, como ocurre frecuentemente, los datos disponibles corresponden a la irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal, es necesario obtener la irradiación o exposición extraterrestre diaria media mensual (H_0). A partir de la expresión anterior, integrando entre la duración del día, se puede determinar la irradiación solar extraterrestre o energía radiante exterior a la atmosfera que incidiría sobre una superficie horizontal a lo largo de un día (H_0) (ecuación 11), en un determinado punto de la Tierra de latitud (l). Calculando los valores diarios, realizando el promedio de los mismos para un mes (n , días del mes), se obtiene el valor mensual de la radiación extraterrestre horizontal (Duffie y Beckman, 1991).

Ecuación 11. Radiación extraterrestre horizontal.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} \times I_{sn}(\omega_s \times \text{sen}l \times \text{sen}\delta + \text{cos}l \times \text{cos}\delta \times \text{cos}\omega_s) \quad (11)$$

Energía Solar Térmica

¿Cómo llega la energía del Sol a nuestro planeta? El Sol, de forma directa o indirecta, es el origen de todas las energías renovables, exceptuando la energía mareomotriz y la geotérmica. La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera. De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo; y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta. La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas (figura 2) (Schallenberg, 2008):

- Radiación directa: es la radiación que nos llega directamente del Sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras. Es el tipo de radiación predominante en un día soleado.
- Radiación difusa: es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección. Es el tipo de radiación predominante en un día nublado.

- Radiación reflejada o albedo: es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua (como cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.
- La radiación global: es la suma de la radiación directa y la radiación difusa.



Figura 2. Radiación solar en distintas formas.

¿Cuáles son los principales usos de la energía solar? La energía procedente del Sol se ha utilizado, directa o indirectamente, desde hace siglos en numerosas actividades: agricultura, arquitectura, industria, etc.

El Sol puede aprovecharse energéticamente de dos formas conceptualmente diferentes (Schallenberg, 2008):

- Como fuente de calor: energía solar térmica de baja y media temperatura.
- Como fuente de electricidad: energía solar fotovoltaica y solar térmica de alta temperatura.

¿Cómo funciona la energía solar térmica? El principio básico de funcionamiento de estos sistemas solares es sencillo: la radiación solar se capta y el calor se transfiere a un fluido (generalmente agua o aire). Para aprovechar la energía solar térmica se usa el captador solar, también denominado colector o placa solar. El fluido calentado se puede usar directamente (por ejemplo, para calentar agua en piscinas) o indirectamente mediante un intercambiador de calor (por ejemplo, en el caso de la calefacción de una habitación). El colector es el elemento que capta la energía solar. Normalmente consta de los siguientes elementos (figura 3) (Schallenberg, 2008):

- Cubierta frontal transparente, por lo general vidrio.
- Superficie absorbente, por donde circula el fluido (normalmente agua) y que suele ser de color negro.
- Aislamiento térmico, para evitar las pérdidas de calor.
- Carcasa externa, para su protección.

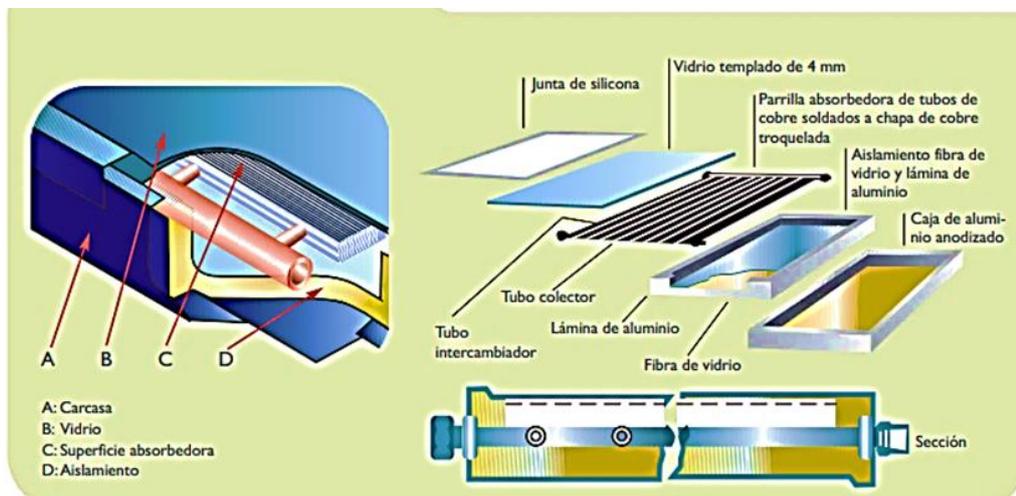


Figura 3. Elementos de un colector solar térmico.

El colector solar basa su funcionamiento en el efecto invernadero: la radiación solar (rayos solares) (onda corta) incide en el vidrio que lo atraviesa y es absorbida por una superficie que se calienta. Esta superficie emite, a su vez, calor (radiación térmica) (onda larga); no obstante, este tipo de onda no puede atravesar el vidrio, por lo que se queda atrapada dentro del colector (Schallenberg, 2008).

¿Cuáles son los tipos de aprovechamiento de la energía solar térmica? La energía solar térmica se utiliza principalmente para calentar fluidos o secar productos normalmente alimenticios. Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones se dividen en:

- Baja temperatura.
- Media temperatura.
- Alta temperatura.

Tipos De Colectores

Colector solar térmico de baja temperatura

Los colectores que se utilizan en estas aplicaciones son colectores planos. Dentro de estos sistemas podemos distinguir 2 tipos de instalaciones (Schallenberg, 2008):

Sistemas de circulación forzada. En este tipo de sistemas (figura 4), el acumulador se suele situar dentro del edificio, por ejemplo, en el sótano. Para hacer circular el agua entre el colector y el acumulador se utiliza una bomba, por lo que se hace necesario un aporte externo de energía. Este tipo de sistemas se utiliza sobre todo en el centro y norte de Europa, habida cuenta de que en estos países el clima es muy frío en invierno como para poder situar el acumulador en el exterior, dado que las pérdidas de calor serían cuantiosas (Schallenberg, 2008).

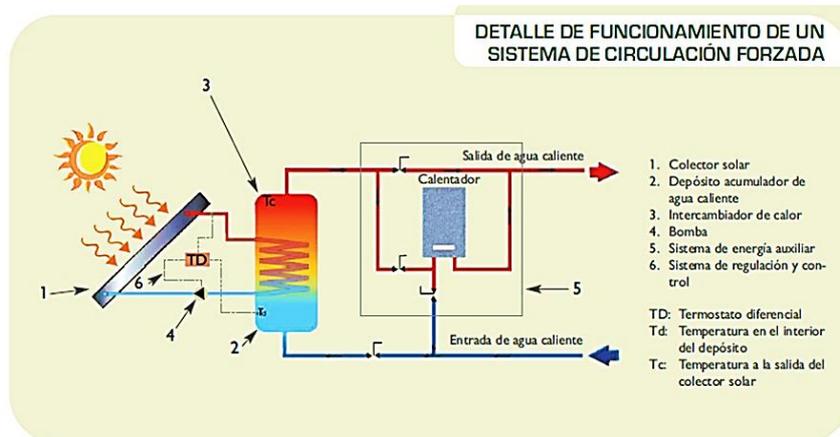


Figura 4. Sistema de circulación forzada.

Sistemas termosifón. Este tipo de sistemas funcionan sin aporte externo de energía (figura 5), ya que aprovechan el denominado efecto termosifón: el movimiento del agua se produce por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del depósito de acumulación (tanque) y la caliente del captador, puesto que el agua que está dentro del colector se calienta por el Sol, disminuyendo su densidad y, por tanto, su peso específico. Al disminuir su peso específico, el agua más caliente se sitúa en la parte superior del captador. Este hecho, unido a que el mayor peso del agua fría del depósito hace que ésta caiga por el conducto que une la parte inferior del depósito con la parte inferior del captador, provoca que el agua caliente del captador ascienda hasta el tanque. En este tipo de sistemas el tanque se suele situar por encima del captador (Schallenberg, 2008).



Figura 5. Sistema termosifón.

Estos 2 tipos de instalaciones pueden ser, a su vez, de circuito abierto o cerrado (Schallenberg, 2008).

- Instalaciones de circuito abierto: El agua que circula por el colector es la misma que se utiliza como agua caliente. El agua entra en el colector, se calienta, pasa al tanque y se usa directamente.
- Instalaciones de circuito cerrado: Por el colector circula un fluido (en circuito cerrado) que se calienta y cede su calor al agua de abasto a través de un intercambiador de calor.

Las instalaciones de circuito cerrado son apropiadas para aquellas zonas donde el agua de abasto es de mala calidad, ya que si esta agua circulara por el colector (caso del circuito abierto), éste se estropearía antes y habría que cambiarlo. Sin embargo, si se utiliza el circuito cerrado, el único elemento que está en contacto con el agua de abasto es el intercambiador de calor, elemento más económico y fácil de cambiar. En la siguiente figura (6) se presenta ambas instalaciones (Schallenberg, 2008).

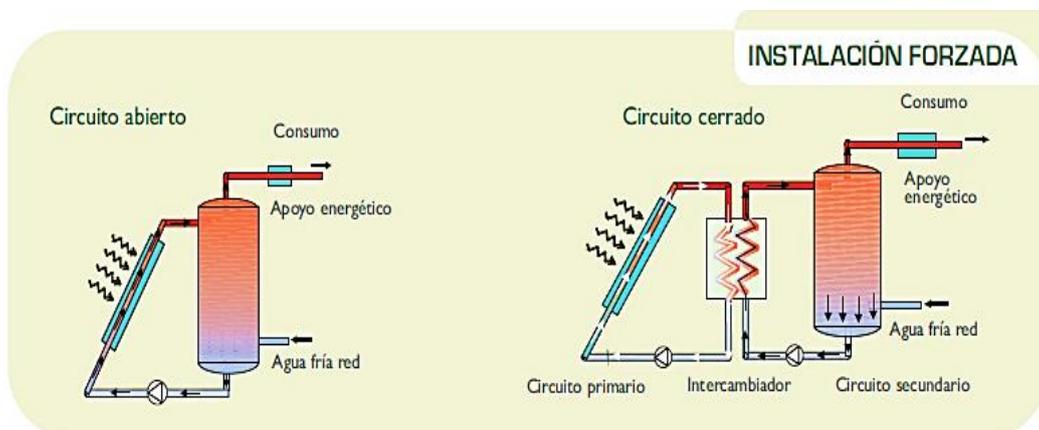


Figura 6. Instalación forzada de circuito abierto y cerrado.

Tipos De Secadores Solares

Existen diferentes tipos de secadores solares:

Tipo “carpa”. Es un modelo sencillo, compacto, liviano, plegable y transportable para secar cualquier tipo de alimento en pequeñas cantidades (figura 7) (Almada, 2005).

Está hecho de una estructura metálica (que puede ser también de madera) de la forma de una carpa triangular, cubierta en gran parte por una lámina de plástico transparente, resistente a los rayos ultravioletas (polietileno larga duración) y puede tener diferentes tamaños (Almada, 2005).

Las aberturas de ventilación están ubicadas abajo, por uno de los lados longitudinales y arriba por el otro, los dos cubiertos de malla mosquitero para evitar el ingreso de insectos. A 20 cm del suelo aproximadamente se encuentra la bandeja de secado removible, consistiendo en un tejido por ejemplo de hilo de nylon. Sobre éste se coloca una gasa o una malla fina sobre la cual se colocarán los productos a secar (Almada, 2005).

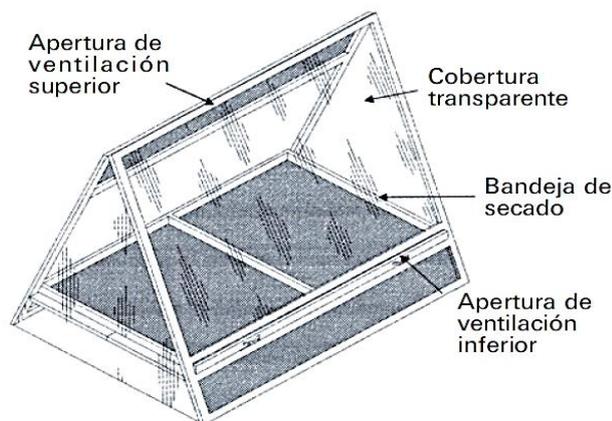


Figura 7. Secador solar directo tipo carpas.

Tipo “armario”. Es un modelo más complejo para secar todo tipo de alimentos, especialmente aquellos que necesitan mantener un buen color y proteger sus propiedades naturales. Consiste en una cámara de secado y un colector solar inclinado, unidos entre sí en la parte inferior de la cámara. En ésta se encuentran superpuestas varias bandejas de secado removibles con tejido. Las bandejas están protegidas por una puerta colocada en la pared trasera de la cámara (figura 8) (Almada, 2005).

El colector está cubierto con vidrio y tiene en su interior una chapa de color negro doblada en zigzag, para aumentar su superficie de intercambio de calor con el aire. El aire ambiental entra por la extremidad inferior del colector, que está cubierta por una malla mosquitero, y se calienta gradualmente hasta una temperatura de 25 a 30°C superior a la temperatura ambiental (Almada, 2005).

Entra finalmente en la cámara, donde atraviesa las bandejas ejerciendo su poder secador. Un extractor eléctrico de aire en la parte superior de la cámara garantiza la buena ventilación del aparato (Almada, 2005).

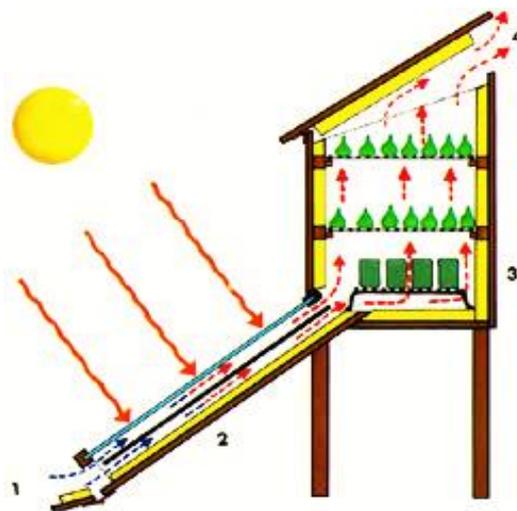


Figura 8. Secador solar indirecto tipo armario.

Tipo “túnel”. Este modelo sirve para pequeños emprendimientos industriales.

Consiste en un túnel horizontal elevado con una base rígida de hierro y una cobertura transparente de lámina de polietileno de larga duración, igual que el tipo carpa. El túnel está dividido en sectores alternantes de colector y secador. Los primeros tienen la función de calentar el aire, que luego en los últimos es utilizado para el secado de los productos en las bandejas (figura 9) (Almada, 2005).

El aire circula en forma horizontal a través de todo el túnel, ingresa por un extremo y sale por el otro, generalmente con la ayuda de un ventilador eléctrico. En sitios sin energía eléctrica está apoyado por una chimenea ubicada en la salida del secadero. El aparato es una construcción modular plana con marco rígido, compuesta de dos chapas, con una capa de aislante térmico. Esta estructura se coloca sobre caballetes. Las bandejas de secado son removibles y se pueden estirar lateralmente como los cajones de una cómoda. Por la altura relativamente grande de las bandejas es posible secar también productos que ocupan mucho volumen, tales como hierbas o flores. La entrada y la salida del aire están protegidas con una malla mosquitero para evitar el ingreso de insectos. El secadero se calienta a una temperatura de 20 a 25 °C superior a la temperatura ambiental (Almada, 2005).

Para un mejor aprovechamiento del secadero, se puede agregar un sistema de calefacción auxiliar.

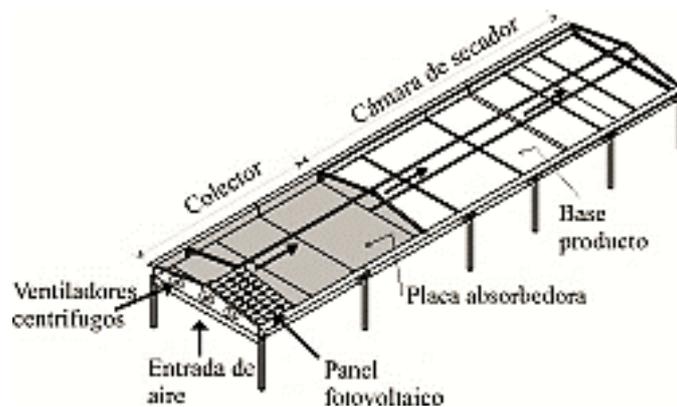


Figura 9. Secador solar tipo túnel.

Otros secadores solares

Sistemas mixtos. Estos pueden variar de acuerdo al diseñador.

Secadores solares de túnel que cuenta con sistema directo e indirecto de calor. Son semejantes a los secadores de bandeja, pero de funcionamiento similar semi continuo para la cual las bandejas conteniendo el producto a secar se carga sobre carretillas que se trasladan a lo largo del túnel de secado (figura 10) (Almada, 2005).

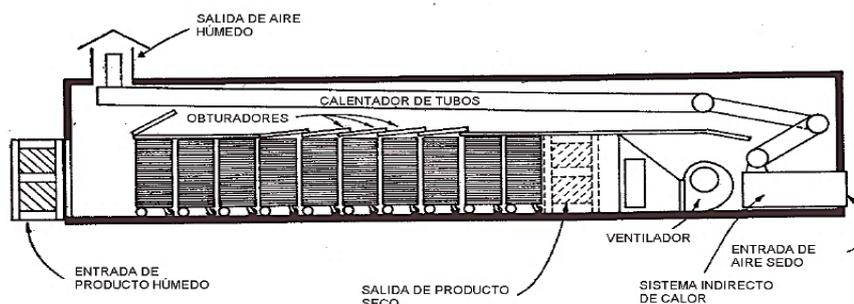


Figura 10. Secador de túnel con sistemas mixtos.

Teoría Del Secado

Munjumbar (como se citó en Montero, 2005) piensa que el secado es una operación básica que consiste en reducir la humedad de un producto cualquiera, de forma que el producto final presenta unas características muy diferentes a las de la inicial. La deshidratación es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación de alimentos y productos agrícolas.

Caputo, Scacchi y Pelagagge (como se citó en Montero, 2005) consideran que el secado de subproductos para una utilización posterior (combustible, materia prima de proceso, etc), aunque también es una técnica altamente desarrollada, origina consumos de energía considerables.

Esta operación puede hacerse:

- Por evaporación y/o vaporización con ayuda de calor (secado térmico mediante aire caliente, radiación solar, etc).
- Mediante otros procesos físico-químicos (liofilización, ósmosis, adsorción, congelación, etc).
- Por extracción de agua a través de medios mecánicos (presión, vibración, filtrado, centrifugación, etc).

El secado térmico, sistema más habitual y utilizado de secado de subproductos, es un proceso simultáneo de transferencia de masa y energía en el que se produce básicamente (figura 11) Kneule (como se citó en Montero, 2005):

- Transferencia de calor, desde el agente desecante al producto.
- Transferencia de masa, encargada de llevar la humedad del interior del producto hacia la superficie y de la superficie al aire de los alrededores.

Fito, Grau, Barat y Albors (como se citó en Montero, 2005) analizaron que además de estos dos procesos simultáneos existe otra complicación: las condiciones físicas del producto se modifican en el transcurso de la extracción de humedad. Así, cuando la humedad se encuentra en la superficie sólo se necesita para el secado la evaporación superficial. Sin embargo, cuando la humedad se halla en el interior, el secado está influido por el movimiento de la humedad en la materia, que es consecuencia de fenómenos como la capilaridad, la difusión del vapor y el flujo de moléculas.

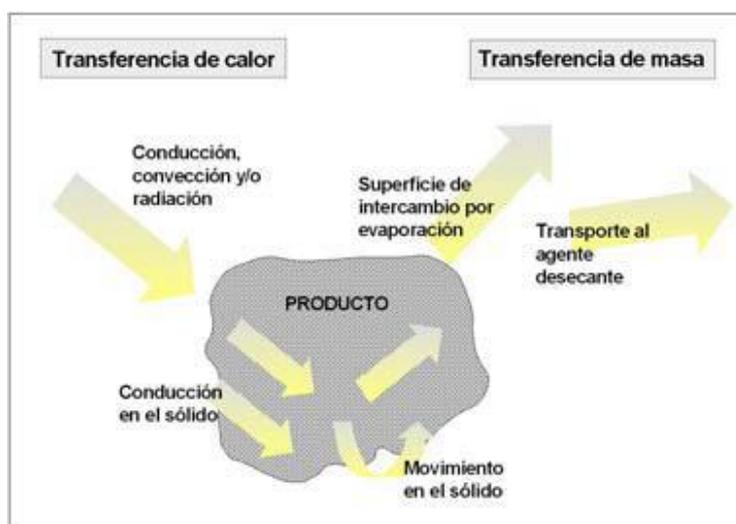


Figura 11: Transferencia de calor y masa en el secado.

Negi y Roy (como se citó en Montero, 2001) piensa que en general, los principales objetivos que se suelen perseguir en las operaciones de secado pueden agruparse en los siguientes:

- Facilitar un proceso industrial posterior.
- Conseguir la utilización satisfactoria, final o intermedia, de un determinado producto.
- Posibilitar la conservación, almacenamiento y transporte de un material.
- Mejorar el rendimiento de una instalación o equipo.
- Reducir costes (almacenamiento, transporte, conservación, disminución consumo combustible, etc.).
- Permitir el posterior aprovechamiento de subproductos.
- Y obtener mejoras medioambientales directas e indirectas.

Liang, Khan y Meng (como se citó en Montero, 2005) estudiaron que, en particular, en lo que se refiere a la utilización de biomasa con fines energéticos, el secado es el pretratamiento más importante. Existen diversas razones por las que es necesario realizar un pretratamiento de secado antes de la utilización energética (combustión) de subproductos, destacándose de:

- El aumento de la eficiencia del proceso y disminución de tamaño de los equipos (Liang estudió el efecto del contenido de humedad de la biomasa en el rendimiento y tamaño de las calderas, concluyendo que la utilización de combustibles con humedades entre 35 y 70% (base húmeda) hacen variar la eficiencia del equipo entre un 50 y 75%, respectivamente, y que el tamaño de los equipos necesarios con la utilización de combustible seco puede variar entre 1.2 y 2.2 veces) (T. Liang, 1996)
- La disminución de requerimiento de energías auxiliares.
- El descenso en consumo de combustible.
- El incremento de la producción de fluido caliente.
- La mejora del funcionamiento del generador de vapor o de agua caliente.
- Y la reducción de las emisiones a la atmósfera.

Contenido De Humedad

Ekechukwu (como se citó en Montero, 2005) dijo que el factor de mayor influencia en la cinética de secado, que afecta en general a todos los ratios de secado, es el contenido de humedad del material.

Así mismo, pronunció que existen diferentes métodos para medir el contenido de humedad de un producto. Los métodos indirectos utilizan la dependencia de una propiedad del producto

(p.ej. conductividad eléctrica) con el contenido de humedad, consiguiendo una medición rápida pero que requiere de un equipo muy especializado. La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa de producto y la masa seca correspondiente al eliminar el agua evaporable contenida en él, aplicando calor a una temperatura generalmente de 104 °C hasta llegar a un peso constante de la muestra.

Este método, aunque es el más utilizado, presenta como principal inconveniente el que al evaporar el agua se pueden eliminar, al mismo tiempo, otras sustancias del producto (volátiles) lo cual puede suponer errores en la obtención de dicha variable

Corvalan, Horn, Roman y Saravia (como se citó en Montero, 2005) investigaron que la cantidad de humedad presente en un material puede ser expresada en base húmeda o en base seca, e indicada como decimal o porcentaje.

El contenido de humedad en base húmeda, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material sin secar, viene dado por la ecuación (12). De igual manera, el contenido de humedad en base seca, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material seco, se indica en la expresión (13) Corvalan et al. (como se citó en Montero, 2005).

Ecuación 12. Contenido de humedad en base húmeda.

$$M_{ub} = \frac{W_w}{W_o} = \frac{W_o - W_d}{W_o} \quad (12)$$

Ecuación 13. Contenido de humedad en base seca.

$$M_{db} = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W_o - W_d}{W_d} \quad (13)$$

Donde:

M_{ub} es la humedad en base de agua húmeda, (Kg agua / kg prod. húmedo).

M_{db} es la humedad en base seca (Kg agua / Kg prod. seco).

W_o es el peso inicial de material sin secar (Kg).

W_w es la cantidad de agua en el producto húmedo (Kg).

W_d es el peso de la materia seca en el producto (Kg).

La relación entre M_{ub} y M_{db} se expresa en las ecuaciones (14 y 15), respectivamente

Ecuación 14. Relación entre humedad base húmeda y seca.

$$M_{ub} = 1 - \left[\frac{1}{(M_{db} + 1)} \right] \quad (14)$$

Ecuación 15. Relación entre humedad base húmeda y seca. (15)

$$M_{db} = \left[\frac{1}{(1 - M_{ub})} \right] - 1$$

Habitualmente en ingeniería y, más concretamente, en ensayos de secado, donde el producto se va pesando de forma regular disponiendo de un registro de pérdida de peso, el contenido en humedad instantáneo para cualquier tiempo (t), en base húmeda o seca, se obtiene respectivamente mediante las expresiones (16 y 17) Corvalan et al. (como se citó en Montero, 2005).

Ecuación 16. Contenido en humedad instantáneo para cualquier tiempo.

$$Mt_{ub} = 1 - \left[\frac{(1 - M_{oub}) W_o}{W_t} \right] \quad (16)$$

Ecuación 17. Contenido en humedad instantáneo para cualquier tiempo. (17)

$$Mt_{db} = \left[\frac{(M_{odb} + 1) W_o}{W_t} \right] - 1$$

Siendo:

M_o el contenido de humedad inicial en base húmeda o seca (W_t), el peso del material en el tiempo (t) (Kg).

Calor Latente

Giner y Gely (como se citó en Montero, 2005) obtuvieron que el requerimiento térmico para secar un producto se denomina calor latente de vaporización (L_w), y representa la cantidad de energía que tiene que absorber el producto para vaporizar su humedad, esto es, la energía necesaria para evaporar 1 L de agua.

En el agua libre, este valor depende exclusivamente de la temperatura y es del orden de los 2450 KJ/Kg a 20 °C. Su valor en función de la temperatura se puede determinar mediante la expresión (18) Giner y Gely (como se citó en Montero, 2005).

Ecuación 18. Calor latente.

$$L_w = \frac{R}{M_w} (P_{s1} - P_{s2}(T + 273.16)) \quad (18)$$

Siendo:

L_w el calor latente de vaporización del agua pura (J/Kg).

R la constante de los gases (8314 J/Kmol K).

M_w el peso molecular del agua (18.01 Kg/Kmol).

P_{s1} y P_{s2} constantes de la ecuación con valores de 6547.1 y 4.23, respectivamente.

T la temperatura (°C).

Ekechukwu (como se citó en Montero, 2005) pronunció que, si el agua no está libre, como ocurre habitualmente en la biomasa, el calor latente de vaporización es mayor y los factores de los que depende son el tipo de producto, su humedad y la temperatura. De esta manera, conforme aumenta el contenido de humedad y la temperatura, menor es el calor latente de vaporización necesario. La variación de este parámetro con la temperatura y el contenido de humedad han sido estudiada por diversos autores para diferentes materiales.

Por otro lado, si el ambiente en el que se encuentra el producto tiene una humedad relativa mayor que la actividad de agua que le corresponde a su contenido de humedad, éste absorbe humedad. Por lo tanto, para secar el material no es suficiente con suministrar calor, sino que es necesario que la humedad relativa del ambiente en el que se encuentra sea lo suficientemente baja Corvalan et al. (como se citó en Montero, 2005).

Ratios De Secado

Curvas de secado de un producto. En general, el proceso de secado se caracteriza por tres fases (figura 12) Kneule (como se citó en Montero, 2005).

- 1a Fase: Periodo de velocidad de secado creciente. - Corto periodo transitorio (habitualmente despreciable) en el que se produce un calentamiento inicial del producto y la velocidad de secado aumenta.
- 2a Fase: Periodo de velocidad de secado constante. - El secado tiene lugar sólo en la superficie, produciéndose exclusivamente la evaporación de la humedad superficial. La extracción de humedad en este periodo depende principalmente de las condiciones del

aire circundante y prácticamente es independiente de la naturaleza del producto. El movimiento del agua en el material es lo suficientemente rápido como para mantener las condiciones de saturación en la superficie, de manera que durante todo el intervalo el producto se encuentra saturado de humedad a una temperatura prácticamente constante y aproximadamente igual a la temperatura de bulbo húmedo. El proceso es similar a la evaporación de un líquido. (En los materiales no higroscópicos todo el proceso de secado tiene lugar en el régimen de secado constante).

- 3a Fase: Periodo de velocidad de secado decreciente. - Comienza al finalizar el periodo constante (contenido de humedad crítico del producto). La resistencia interna del material se hace más importante, dificultando el paso de humedad; ya no existen condiciones de saturación en la superficie y se produce la eliminación de la humedad interna. Este periodo depende fundamentalmente de la difusión de humedad del interior del producto hacia la superficie, así como de la evaporación superficial. A su vez, está dividido en dos estados, un primer periodo decreciente, en el que tiene lugar el secado de la superficie no saturada, y un segundo periodo decreciente en el que la difusión de humedad a la superficie se hace más lenta y es el factor determinante. En general, la duración de estos regímenes depende del contenido de humedad inicial del material.

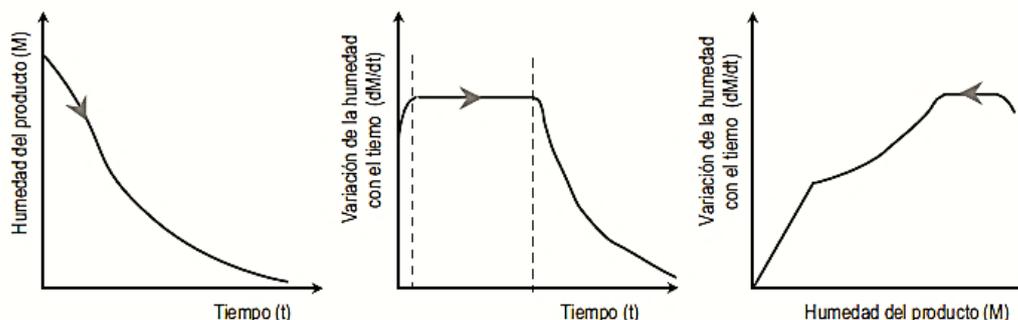


Figura 12. Curvas de secado.

Los productos agrícolas diferentes de otros materiales frecuentemente secados (textil, piedra, papel, etc), conocidos estos últimos como no higroscópicos Balladín, Chang Yen, McGaw y Headley (como se citó en Montero, 2005).

Los materiales no higroscópicos se caracterizan por tener la humedad ligeramente retenida en su interior, de forma que se considera “desligada” del producto y, por tanto, es posible secarlos hasta valores de contenido de humedad iguales a cero Balladín et al. (como se citó en Montero, 2005).

Sin embargo, en los materiales agrícolas (higroscópicos) la humedad contenida está usualmente “atrapada” en pequeños capilares cerrados, siendo imposible llegar hasta valores de humedad iguales a cero y, por tanto, siempre existe un contenido de humedad residual Tunde-Akintunde, Afolabi y akintunde (como se citó en Montero, 2005).

Tunde-Akintunde et al. (como se citó en Montero, 2005) afirmaron que cuando un producto es calentado con contenido de humedad constante, su presión del vapor aumenta, dando lugar a un movimiento de humedad hacia el ambiente que se encuentra a una presión de vapor inferior. El ratio de humedad es solo aproximadamente proporcional a la diferencia de presiones de vapor entre el producto y el ambiente, ya que existe una resistencia del material al flujo de humedad.

De esta forma, se puede hablar para los productos agrícolas, en general, de dos regímenes de secado: el periodo de velocidad de secado constante y el periodo de velocidad de secado decreciente. Sin embargo, dependiendo del tipo de producto y del proceso de secado, en ocasiones no existe periodo de velocidad de secado constante. Por tanto, resulta fundamental realizar ensayos experimentales de secado para cada tipo de producto, mediante el registro de peso a diferentes intervalos, para poder establecer de manera correcta sus curvas de secado Gudiño (como se citó en Montero, 2005).

Curva De Velocidad De Secado

Cuando se secan los alimentos, no pierden agua a velocidad constante hasta que están completamente secos. Por el contrario, a medida que prosigue el proceso de secado, la velocidad con que se elimina el agua no importa en qué combinación de circunstancias va disminuyendo (Sing, Singh, Singh y Sawhney, 2002).

La curva de velocidad de secado se obtiene sobre el contenido de humedad por la exposición de una muestra de humedad a una corriente de aire. La muestra usualmente es suspendida en un gabinete o ducto. Para secar la muestra se utiliza una corriente de aire a temperatura, humedad, velocidad y dirección de flujo constantes que cruza a través de la misma (Sing et al. 2002)

Sing et al. (2002) determinaron que el peso de la muestra es reducido continuamente como función del tiempo. Este dato permite calcular el contenido de humedad en base seca (H). En seguida, el contenido de humedad libre se calcula de la siguiente manera (ecuación 19):

Ecuación 19. Contenido de humedad.

$$H_L = H - H_e \quad (19)$$

Donde:

H_e es el contenido de humedad en el equilibrio.

La humedad libre de una sustancia es el exceso de humedad de equilibrio a cualquier temperatura y humedad dadas. Considerando la deshidratación de un “bloque” ideal de alimento que no sufre encogimiento, por medio de una corriente de aire a temperatura y humedad constante, la conducta de los alimentos deshidratados depende de la manera en que se encuentra la humedad, ya sea en forma libre o ligada (Sing et al. 2002).

Un secador de aire, bajo condiciones ambientales constante, el proceso de secado puede ser dividido en un periodo de velocidad constante y uno o más periodos de velocidad decreciente. En este sentido, se pueden dividir los alimentos que serán deshidratados en dos categorías: higroscópicos y no higroscópicos. La definición de un material no higroscópico es que la presión parcial (p) en el material es igual a la presión de vapor de agua (p^o) (Tiwari, 2002).

Por otro lado, en los materiales higroscópicos, la presión parcial del agua es menor que la presión de vapor del agua a las mismas condiciones críticas de humedad (H_h), en otras palabras, un alimento higroscópico es aquel que se puede absorber humedad una vez deshidratado. Entonces para un alimento no higroscópico podemos definir como (ecuación 20 y 21) (Tiwari, 2002):

Ecuación 20. Presión parcial.

$$p = p^o \text{ para } 0 < H \leq H_1 \quad (20)$$

Donde:

H es el contenido de humedad.

H_1 es el contenido de humedad inicial.

Para alimentos higroscópicos las relaciones son:

Ecuación 21. Presión parcial.

$$p = p^o \text{ para } H < H \leq H_1 \quad (21)$$

Entonces: $0 < p < p^o$ para $0 < H \leq H_h$

En las figuras 13 y 14 se muestran las curvas de velocidad de secado para alimentos higroscópicos y no higroscópicos respectivamente. Las curvas de secado mostradas en estas figuras incluyen varios periodos de desecación (Tiwari, 2002).

En el primero, la humedad es removida por la evaporación de la superficie saturada, en seguida el área de la superficie saturada disminuye gradualmente y a continuación se da la evaporación de agua en las partes internas de la muestra. Las curvas de cambio de humedad libre contra cambio de tiempo se muestran también en las figuras. Las curvas señalan claramente la presencia de un periodo de calentamiento constante de AB, un periodo de velocidad constante BC y un periodo de velocidad decreciente CD. El contenido de humedad en el punto C, donde se dan los cambios de velocidad constante a decreciente se denomina contenido crítico de humedad y depende de varios factores que son característicos de cada producto. El periodo de velocidad decreciente para alimentos no higroscópicos consta de dos partes: el primero, periodo de velocidad decreciente CD y el segundo, periodo de velocidad decreciente DE. Para alimentos higroscópicos, tenemos un tercer periodo de velocidad decreciente que es el EF (Tiwari, 2002).

Periodo De Velocidad Constante

Durante el periodo de velocidad de secado, la velocidad de remoción de humedad del producto es limitada solo por la velocidad de evaporación de agua superficial sobre o dentro del producto. Este periodo continuara mientras la migración de humedad hacia la superficie en la que ocurre la evaporación sea más rápida que la evaporación que se lleva a cabo en la misma superficie la velocidad a la cual ocurre la evaporación del agua de la superficie depende de dos factores como se muestra en la siguiente ecuación (22) (Togrul y Pehlivan, 2004).

Ecuación 22. Periodo de velocidad constante.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{hA(T_a - T_w)}{L} = K_m A(H_w - H_A) \quad (22)$$

Donde:

h es el coeficiente de transferencia de calor que describe las condiciones existentes en la superficie.

K_m es el coeficiente de transferencia de masa que describe la transferencia de humedad hacia el aire.

T_a es la temperatura del bulbo seco.

T_w es la temperatura del bulbo húmedo.

H_w es la humedad absoluta en condiciones de bulbo húmedo.

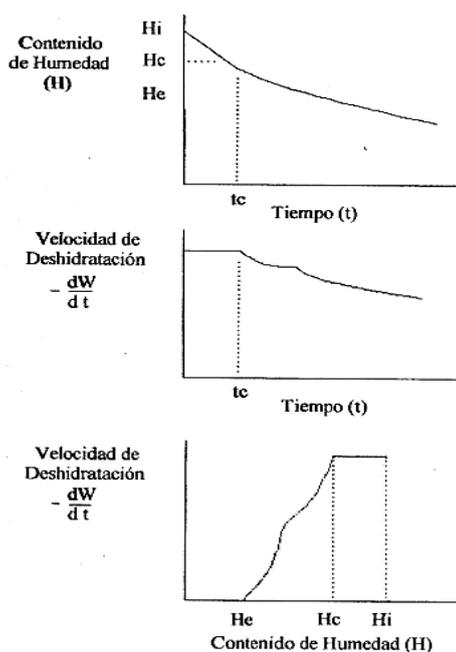


Figura 13. Representación esquemática de los cambios en contenido de humedad como en función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo para alimentos higroscópicos.

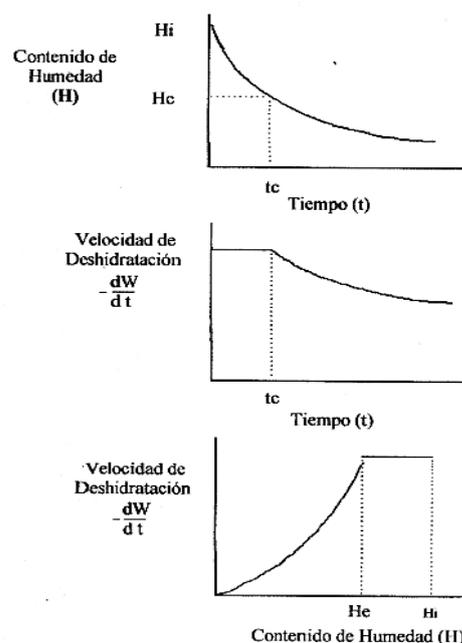


Figura 14. Representación esquemática de los cambios en contenido de humedad como en función del tiempo y la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo para alimentos no higroscópicos.

Periodo De Velocidad Decreciente

Al avanzar la desecación se alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal que la superficie comienza a secarse. En dicho punto C, la velocidad de desecación comienza a descender iniciándose el periodo de velocidad decreciente. El contenido de humedad del producto en el punto C se denomina contenido crítico de humedad. A partir del punto C la temperatura de la superficie comienza a elevarse; elevación que persiste durante la desecación.

Frecuentemente el periodo de velocidad decreciente consta de dos partes conocidas como primer y segundo periodos de velocidad decreciente, C-E y D- E respectivamente (Togrul y Pehlivan, 2004).

Transferencia De Calor

La transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto (figura 15). El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta (Croos, 2015).

Modos de transferencia de calor. En general, se reconocen tres modos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, aunque, en rigor, solo la conducción y radiación debieran considerarse formas de transmisión de calor, porque solo ellas dependen exclusivamente de un desequilibrio térmico para producirse. Para que se produzca convección, tiene que haber un transporte mecánico de masa además de una diferencia de temperatura, sin embargo, teniendo en cuenta que la convección también transfiere energía de zonas con mayor temperatura a zonas con menor temperatura, normalmente se admite el modo transferencia de calor por convección (Croos, 2015).

- **Conducción:** Es la transferencia de calor que se produce a través de un medio material por contacto directo entre sus partículas, cuando existe una diferencia de temperatura y en virtud del movimiento de sus micropartículas. El medio puede ser sólido, líquido o gaseoso, aunque en líquidos y gases solo se da la conducción pura si se excluye la posibilidad de convección. La cantidad de calor que se transfiere por conducción, viene dada por la ley de Fourier. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal, es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (ecuación 23) (Croos, 2015).

Ecuación 23. Transferencia de calor por conducción.

$$Q = \lambda A(\Delta t) \rightarrow q = \frac{Q}{A} = (\lambda \Delta t) \quad (23)$$

Donde:

λ conductividad térmica.

q unidad de área (W/m^2)

Q calor.

A área.

Δt diferencia de temperatura.

- **Convección:** La transmisión de calor por convección se compone de dos mecanismos simultáneos. El primero, es la transferencia de calor por conducción, debido al movimiento molecular, a la que se superpone la transferencia de energía por el movimiento de fracciones del fluido que se mueven accionadas por una fuerza externa, que puede ser un gradiente de densidad (convección natural), o una diferencia de presión producida mecánicamente (convección forzada) o una combinación de ambas. La cantidad de calor transferido por convección, se rige por la ley de enfriamiento de Newton (ecuación 24) (Croos, 2015).

Ecuación 24. Transferencia de calor por convección.

$$q = \alpha A(t_w - t_f) \quad (24)$$

Donde:

α coeficiente de calor superficial.

t_w temperatura de superficie.

t_f temperatura del fluido.

- **Radiación:** Se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. En ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. El calor emitido por una superficie en la unidad de tiempo, viene dado por la ley de Stefan-Boltzmann (ecuación 25) (Croos, 2015).

Ecuación 25. Transferencia de calor por radiación.

$$\varepsilon_o = \sigma A F_{\lambda-2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (25)$$

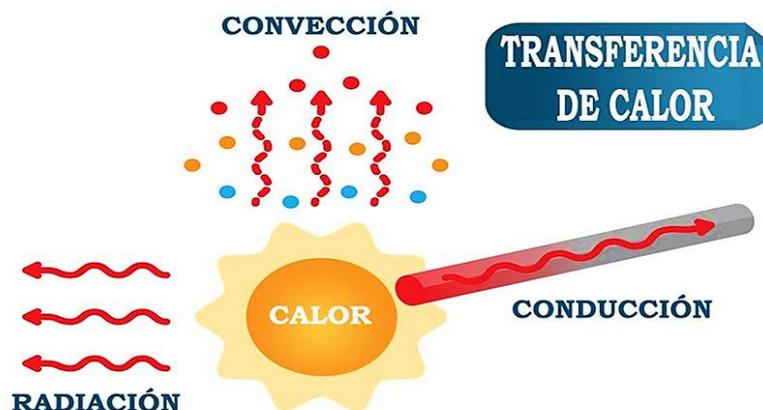


Figura 15. Transferencia de calor.

Área Superficial De Alimento En El Secador

Generalmente subdividimos el alimento a deshidratar en piezas pequeñas o capas delgadas a fin de acelerar la velocidad de secado, o sea se trata de exponer una mayor área superficial con lo que facilitaremos transferencia de masa y de calor (Bérriz, 1993).

Además, que las partículas pequeñas o capas delgadas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer a fin de llegar a la superficie y escaparse (Bérriz, 1993).

Tiempo Y Temperatura

La mayoría de los métodos importante de deshidratación de alimentos emplean calor. Dado que los componentes de los alimentos son sensibles al calor, es preciso encontrar un término medio entre la máxima velocidad de secado y el óptimo mantenimiento de la calidad en los alimentos (Bellevue, 1975).

En los procesos de secado que emplean temperaturas altas por periodos cortos, los alimentos son menos dañados que los alimentos sometidos a procesos de secado que emplean temperaturas más bajas por tiempos más largos. Varios procesos de secados pueden lograr la deshidratación en cosas de minutos si el alimento se subdivide suficientemente (Bérriz, 1993).

Ratio De Humedad

La ratio de humedad ($M R$), se expresa generalmente según la ecuación (26) (Togrul y Pehlivan, 2004):

Ecuación 26. Ratio de humedad.

$$M R = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (26)$$

Donde:

$M R$ es el ratio de humedad (%).

M_t es el contenido de humedad en cada instante (Kg).

M_o el contenido de humedad inicial (Kg).

M_e el contenido de humedad de equilibrio (Kg).

Sin embargo, es habitual en las aplicaciones de secado despreciar el contenido de humedad de equilibrio, ya que la humedad relativa del aire fluctúa continuamente durante el proceso siendo (M_e) un parámetro difícil de determinar. De esta manera, la ratio de humedad que se utiliza comúnmente es el dado en la expresión (27) (Togrul y Pehlivan, 2004).

Ecuación 27. Ratio de humedad.

$$M R = \frac{M_t}{M_o} \quad (27)$$

Ratio De Secado

Como ya se ha indicado, cuando el material que debe secarse se pesa a intervalos predefinidos, puede trazarse la curva del contenido en humedad frente al tiempo de secado. Al diferenciar la curva anterior, se obtiene una información muy importante de la cinética de secado: La velocidad de secado en función del tiempo de operación o ratio de secado ($D R$). El ratio o velocidad de secado puede expresarse como se indica en la ecuación (28) (Togrul y Pehlivan, 2004):

Ecuación 28. Ratio de secado.

$$D R = \frac{dM}{dt} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (28)$$

Siendo:

dt la variación de tiempo (h).

$D R$ el ratio de secado (Kg_{agua}/Kg_{seco})/h.

Propiedades Psicométricas

Montero, Miranda, Celma y Rojas, (2005) estudiaron las relaciones termodinámicas entre el vapor de agua y aire se conocen como psicometría. Estas relaciones son básicas e importantes en la deshidratación de alimentos debido al papel que desempeñan las fuerzas involucradas en la remoción de producto.

La terminología debe ser presentada para dar una adecuada explicación en un determinado proceso (Montero et al. 2005)

La presión parcial (p) de un componente puede ser definida como la presión que el componente ejerciera si estuviera completamente aislado. Ambos, aire de secado y vapor de agua ejercieran una presión parcial en la mezcla de aire-vapor (Arranz, 2005).

La humedad relativa (H_R) (ecuación 29 y 30) es la proporción de la calidad de vapor en mezclas gaseosas del máximo de vapor que puede ser contenido en la mezcla. En suma, la humedad relativa es la relación de la presión parcial de vapor (P_v) a la presión de saturación de vapor (P_s) para una mezcla de agua-vapor (Arranz, 2005).

Ecuación 29. Humedad relativa.

$$H_R = \frac{m_v}{m_{as}} \quad (29)$$

Ecuación 30. Humedad relativa. (30)

$$H_R = 0.62198 \frac{P_v}{PT - P_v}$$

La humedad absoluta (H_A) (ecuación 31) es la proporción de masa de vapor de agua por unidad de masa aire seco (Arranz, 2005).

Ecuación 31. Humedad absoluta.

$$H_A = \frac{p_v}{p_{vs}} \times 100(\%) \quad (31)$$

Las definiciones anteriores son necesarias para realizar cálculos mediante el uso de la carta psicrométrica. La carta de psicometría es una gráfica de humedad absoluta a lo largo del eje vertical versus la temperatura del bulbo seco en el eje horizontal (Figura 16). La curva en el eje superior representa el punto de saturación y conociendo las temperaturas del bulbo húmedo se pueden calcular la humedad relativa. Otro factor de considerable importancia que podemos obtener es el contenido calorífico o entalpia en la saturación (Ayensu, 1997).

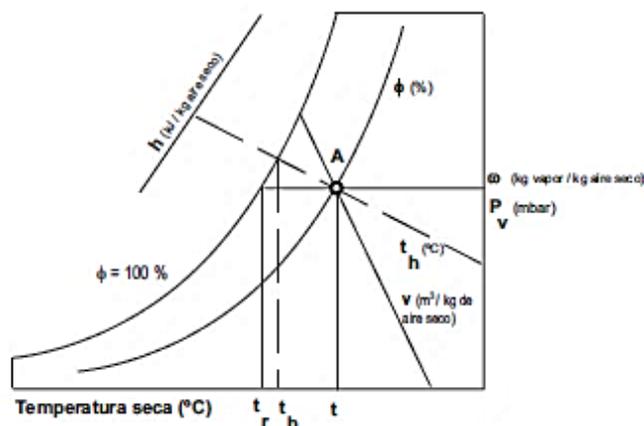


Figura 16. Carta psicrométrica.

Algunos procesos pueden ser descritos mediante la observación en la carta de psicometría. Estos incluyen el calentamiento o enfriamientos sensible. La evaporación por enfriamiento o el proceso de deshidratación ocurren a temperatura de bulbo húmedo constante. Las mezclas de aire con diferentes condiciones de humedad también pueden evaluarse utilizando la carta. Probablemente el proceso de mayor importancia que ocurre durante el periodo de velocidad constante. Este proceso se reconoce por la adición de humedad hacia el aire de secado a la temperatura de bulbo húmedo constante (Ayensu, 1997).

Presión Total Del Aire Seco Y Del Vapor De Agua

Por ser el aire una mezcla de gases (aire seco y vapor de agua), la presión total es la suma de las presiones parciales de sus componentes, tal y como se expresa en la ecuación (32). siguiente, donde la presión absoluta total (PT), se considera con el valor de $101325 Pa$ en condiciones normales (Egolf, Frei y Fuster, 2000).

Ecuación 32. Presión absoluta total.

$$PT = P_{as} + P_v \quad (32)$$

La presión parcial del aire seco (P_{as}), por considerarse este gas ideal, se muestra en la ecuación (33). Igualmente, y asimilando el vapor de agua a un gas perfecto, se tiene la ecuación (34) para la presión parcial del vapor de agua (P_v) (Egolf et al. 2000).

Ecuación 33. Presión parcial de aire seco.

$$P_{as}V = \frac{m_{as}}{M_{as}}R(T_s + 273.16) \quad (33)$$

Ecuación 34. Presión parcial de agua.

$$P_vV = \frac{m_v}{M_v}R(T_s + 273.16) \quad (34)$$

Donde:

V es el volumen del gas (m^3).

R es la constante de los gases ideales.

T_s es la temperatura seca ($^{\circ}C$).

m_{as} y m_v son la masa de aire seco y de vapor de agua (Kg).

M_{as} y M_v son el peso molecular del aire seco y del vapor de agua (Kg/mol).

Calidad Alimenticia

Tratamientos previos a la deshidratación:

Almada (2005) logró un tratamiento previo que consiste en un proceso físico y/o químico anterior al secado, que tiene como fin de evitar o reducir el deterioro del producto durante y después el secado o mejorar su calidad de alguna forma. Existen los siguientes tipos de tratamientos previos:

- a) Blanqueado / Escaldado
- b) Sulfitado
- c) Tratamiento con ácidos orgánicos
- d) Uso de bicarbonato de sodio

e) Agrietado

f) Salado

g) Almibarado

A continuación, describimos cada uno

a) Blanqueado / Escaldado

Consiste en sumergir el producto en agua a temperaturas de 95 °C, por un tiempo variable, que dependen de la especie, del estado de madurez y el tamaño del producto. Tiene los siguientes objetivos:

- Inactivación de las enzimas.
- Ablandamiento del producto.
- Eliminación parcial del contenido de agua en los tejidos.
- Fijación y acentuación del color natural.
- Desarrollo del sabor y olor característico.
- Reducción parcial de los microorganismos presentes.

La inactivación de las enzimas mejora la calidad del producto, reduciendo los cambios indeseables de color, sabor y olor (Almada, 2005).

Además, favorece la retención de algunas vitaminas, como la vitamina C. El blanqueado es utilizado frecuentemente para la inactivación de los sistemas enzimáticos inhibiendo las reacciones de oscurecimiento o pardeamiento. Estas reacciones son muy comunes en frutas y vegetales, dando como producto final pigmentos oscuros llamados melaninas. El blanqueado tiene que realizarse de tal forma que los productos se calienten a una temperatura de 90 a 95 °C hasta su centro o corazón. Una vez terminado el blanqueado los alimentos se deben enfriar rápidamente, sumergiéndolos en agua fría para evitar que continúe la cocción (Almada, 2005).

Para este proceso se utilizan preferiblemente cacerolas grandes y una estufa o cocina con fuego potente. Para obtener un blanqueado homogéneo, se recomienda envolver los productos en un paño permeable al agua, zambullir este paquete en el agua hirviendo y aumentar el fuego al máximo, pues al poner los productos fríos en el agua, ésta deja enseguida de hervir. Esperar el

tiempo necesario hasta obtener el resultado requerido. El enfriamiento se realizará preferiblemente en otra cacerola grande o una pileta con agua bien fría, en la cual se sumerge el paquete rápidamente. Una vez sucia después de varios baños de blanqueado y de enfriamiento, cambiar el agua (Almada, 2005).

b) Sulfitado

La adición de sulfitos inhibe las reacciones de oscurecimiento de los productos a deshidratar, actuando sobre los azúcares. La forma más común de realizar el sulfitado es la inmersión del producto en una solución acuosa de metabisulfito de sodio o potasio a razón de 5 a 10 g de dicho producto por litro durante 5 a 10 minutos a temperatura ambiente. Para este tratamiento hay que hacer uso de secaderos solares, usar recipientes no sensibles a la corrosión, tales como acero inoxidable, vidrio, entre otros.

Como el azufre en concentraciones elevadas es tóxico, hay que cuidar bien la dosis. Las normas de la Organización Mundial para la Salud (OMS) fijan la concentración máxima de azufre en un producto deshidratado a 0.05% (Almada, 2005).

c) Tratamiento con ácidos orgánicos

Tanto el ácido cítrico o el jugo de limón natural, como el ácido ascórbico o vitamina C tienen un efecto de conservación del color natural de ciertas frutas y/o tubérculos que fácilmente sufren del oscurecimiento enzimático. En frutas puede ser aplicado en vez del sulfitado, a pesar que no tiene la misma eficiencia. Además, por su acidez cambia ligeramente el sabor del producto (Almada, 2005).

Generalmente se prepara la solución con el jugo de un limón por litro de agua sumergiendo el producto durante unos minutos.

d) Bicarbonato de sodio

El bicarbonato de sodio estabiliza la clorofila (pigmento verde de las plantas) haciéndose más resistentes a la acción directa de los rayos solares cuando los productos son sometidos al secadero solar directo, conservando de esta manera su color verde original (Almada, 2005).

También produce un ablandamiento de las capas exteriores del producto, facilitando la salida del agua durante el secado y eventualmente evitando el endurecimiento de la capa exterior.

Generalmente se aplica este pretratamiento para hortalizas y leguminosas de color verde disolviendo 30 g de bicarbonato de sodio más 3 g de sal común por cada litro de agua. El contenido de bicarbonato de sodio en el agua deberá alcanzar un pH de 9, lo que se puede controlar con papel indicador de pH (Almada, 2005).

e) Agrietado

Este pretratamiento se utiliza principalmente con frutas que no se pelan antes de secarlas, como ciruelas, uvas e higos, para conseguir un agrietado de la cáscara, facilitando de esta manera el secado (Almada, 2005).

El agrietado consiste en la inmersión de la fruta en una solución caliente (80 °C) de hidróxido de sodio a razón de 10 g por cada litro de agua por el lapso de 5 a 10 s, posteriormente lavar con agua potable y neutralizar durante 30 s con ácido cítrico de 2 g por litro de agua antes de llevar al secadero (Almada, 2005).

f) Salado y almibarado

En el caso del salado nos referimos a la adición de cloruro de sodio (sal común) que, dependiendo del producto a deshidratar, puede acentuar su sabor original. En el almibarado, es la adición de sacarosa (azúcar común) (Almada, 2005).

La acción común del salado y almibarado es la disminución de la actividad de agua que inhibe el desarrollo microbiano o por lo menos lo retarda. Este procedimiento facilita la primera fase del secado (Almada, 2005).

g) Acidificación

El uso de solución de otros ácidos (cítrico, acético, fosfórico, málico, etc.), que impide el desarrollo de microorganismos en los productos a deshidratar.

Un pretratamiento para frutas, verduras, tubérculos, etc. a nivel casero acompañado de un proceso de pasteurización (baño maría) para la producción casera de dulces y/o mermeladas (Almada, 2005).

En seguida, la tabla 2 muestra la comparativa de los métodos de pretratamientos previos y características a productos para deshidratar (Almada, 2005).

Tabla 2. Comparativa de los métodos de tratamientos previos.

Pretratamiento	Desarrollo microbiod	Oxidación de lípidos	Reacción de Maillard	Enceramiento enzimático	Otros efectos	Aplicaciones para
Ahumado	--BML	--	0	0	Cambia el saber	Carne
Baño en salmuera	--BML	+	0	-	Deshidratación parcial	Carne, hortalizas
Blanqueado	--BML	0	0	0	Acelera la deshidratación	Hortalizas, meneos cebolla y ajo
Sulfitado	--BML	--	--	-	Acelera la deshidratación, conserva mejor las vitaminas c, permite humedad final más elevada	Hortalizas, frutas
Ácido cítrico	-	-	+	--	Disminuye pH	Frutas, carnes rojas, hortalizas
Ácido ascórbico	--ML	-	+	--	Disminuye pH	Frutas
Baño en almíbar	--BML	0	+++	0	Deshidratación parcial	Frutas

Referencias

B = bacteria	- = limita poco	+ = favorece poco
M = moho	-- = limita considerable	++ = favorece
L = levadura	+++ = favorece fuerte	O = no influye

Características Del Producto

Papa. La papa es nutritiva, relativamente baja en calorías, prácticamente de libre de grasas y colesterol; y alta en potasio y vitamina C, la cual tiene una capacidad de combate de resfríos y gripes. La papa es una rica fuente de almidón, por lo que es una buena fuente de energía. Los carbohidratos son necesarios para prevenir la fatiga y desbalances nutricionales, siendo la papa una fuente de carbohidratos que contiene menos calorías y grasas que otras fuentes de estos compuestos, como son el pan, las pastas o el arroz (Leyva, 2019).

La papa, además de suministrar energía y los compuestos señalados arriba, posee una buena cantidad de otros metabolitos beneficiosos para la salud humana, esto son:

Fenoles: Los polifenoles son importantes antioxidantes en nuestra dieta y la papa es una buena fuente de ellos, tienen un amplio rango de características promotoras de la salud (Leyva, 2019).

Flavonoides: Otros compuestos con actividad antioxidante y, por lo tanto, promotores de la salud. La papa no contiene tantos flavonoides si se le compara con otros alimentos (Leyva, 2019).

Carotenoides: Las papas son una buena fuente de carotenoides. Las papas con pulpas más amarillas tienen mayor contenido de estos compuestos que las papas de pulpas más blancas. Los carotenoides tienen una serie de propiedades, entre ellas están (Leyva, 2019):

- Actividad pro vitamina A.
- Antioxidantes.
- Activan el sistema inmune.
- Protección de la piel ante luz ultravioleta.
- Promueve comunicación intercelular.
- Aumentan la agudeza mental.

Conteniendo una porción de 175 gramos de papa. Energía 126 Kcal, carbohidratos 27 g, grasa 0,17 g, proteínas 3,15 g, fibra 2,1 g, vitamina C 0,5 mg, vitamina B60 (Leyva, 2019).

Malanga. La malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) es una planta tropical, por lo tanto, se cultiva bien en altitudes bajas y medianas hasta los 1,500 metros sobre el nivel del mar. Los cultivos deben tener una humedad relativa del ambiente del 70 al 80%. El cultivo de la malanga

requiere de un clima cálido húmedo; es decir climas tropicales o climas meso térmicos, con temperaturas que fluctúan entre 20 y 30 °C, con buena luminosidad. Cabe decir que la planta no tolera bajas temperaturas (Leyva, 2019).

Son plantas herbáceas, que alcanzan una altura de 1 a 3 metros sin tallo aéreo. El tallo central es conocido como cormo y es rico en carbohidratos (18 – 30% en base fresca). La parte utilizable de la malanga es el tallo subterráneo tuberoso, que contiene entre 15 a 39% de carbohidratos, 2 a 3% de proteína y entre un 70 a 77% de agua; tiene un valor nutritivo comparable a las papas y de mayor digestibilidad (Leyva, 2019).

Temperatura

Debe haber temperatura promedio no inferior a los 20 °C, siendo la óptima entre los 25 a 30 °C. Las temperaturas inferiores a los 18 °C detienen el crecimiento e interrumpen la fotosíntesis. En la tabla 3, determina el contenido de humedad de algunos productos (Leyva, 2019).

Tabla 3. *Contenido de humedad de algunos tubérculos y temperatura máxima tolerable.*

Producto	Humedad fresca (%)	Humedad Seco (%)	Temperatura (°C)
Papa	75	13	60
Mandioca	62	13	n/d
Batata	80	13	70
Malanga	80	13	70
Café	50	11	n/d
Maíz	35	15	60
Zanahoria	70	5	60
Tomate	95	8	65
Manzana	84	14	50
Mango	85	13	65

CAPÍTULO III: Metodología

La cantidad de tubérculos será proporcional al área total de las bandejas dentro de la cámara de secado por el cual variará de acuerdo al tamaño y grosor de las rodajas.

Realizando las pruebas con papa y posteriormente con la malanga en los secadores directo e indirecto contando con cada prueba sus mediciones de temperatura dentro del secador solar, temperatura del ambiente, temperatura del aire caliente que circula dentro de la cámara de secado, el tiempo que se tarda en deshidratar y características visuales del producto final (color, olor) para cada prueba y posteriormente un análisis de su curva de secado.

Equipos, Instrumentos Y Materiales A Utilizar

Entre los equipos para la deshidratación tenemos:

Un secador solar indirecto (Tipo armario) (figura 17 y 18) que cuenta con una cámara de secado donde se le hace circular aire caliente de un colector solar inclinado, los rayos del sol no le llegan al producto.



Figura 17. Secador solar indirecto (tipo armario) (visto de un costado).

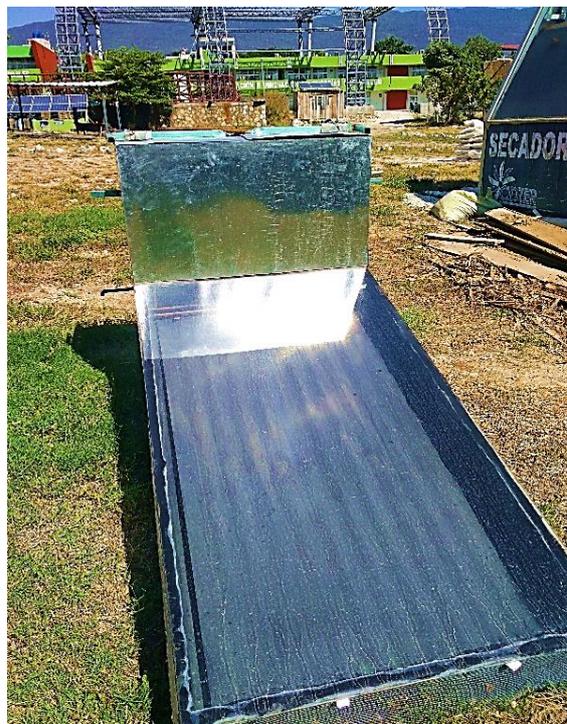


Figura 18. Secador solar indirecto (tipo armario) (visto de frente).

Un secador solar directo (Tipo armario) que cuenta con un colector solar inclinado (figura 19) y la cámara de secado en la parte superior es de cristal (figura 20) en la cual los rayos del sol llegan directamente al producto al igual que el aire caliente que hace circular a través del colector a la cámara de secado.



Figura 19. Secador solar directo (tipo armario) (visto de frente).



Figura 20. Secador solar directo (tipo armario) (visto de arriba).

Balanza (Bascula gramera marca CSSERIES) (figura 21) que nos ayuda a cuantificar el producto en base húmedo y a base seco final que se deshidrata.



Figura 21. Bascula gramera.

Un Multímetro (con Termopar de marca MASTER MAS838) (figura 22) para medir temperaturas del secador solar durante el tiempo de prueba.



Figura 22. Multímetro (termopar).

Un solarímetro (TES 1333 SOLAR POWER METER) (figura 23) para las mediciones correspondientes de la radiación solar que incide al secador solar durante la deshidratación.



Figura 23. Solarímetro.

Pelador de papa (figura 24) para quitar la cascara y rodajear el producto limpio a un grosor de 2 mm o 3 mm.



Figura 24. Pelador de papa.

Contar con franelas, jabón líquido para la limpieza de los materiales y de equipos antes y después de usarlos, uno a dos kilos de Papa y Malanga. Haciendo primero pruebas con papa y posteriormente con malanga, ya que la papa es muy fácil de conseguir.

Para la preparación del secador solar se verifica que todos sus elementos estén en buena condición (figura 25), en caso de que sea lo contrario, arreglar o cambiar, limpiar cada una de las partes del secador, interior y exterior de la cámara de secador solar y en cada una de las bandejas, poner un poco de jabón en líquido en la franela para el cristal del colector.



Figura 25. Cámara de secado (secador solar indirecto).

Pretratamiento Casero, Blanqueado/Escaldado Con Jugo De Limón

Se aplica el método de blanqueado para la inactivación de las enzimas que mejora la calidad del producto, reduciendo los cambios indeseables de color, sabor y olor, y del tratamiento con ácidos orgánicos para prevenir el oscurecimiento de las rodajas.

Se utiliza una estufa ecológica (figura 26) que están ubicadas IIER de la UNICACH, 3 kg de leña, encendedor, cuchillo, pelador de papa, regla, 2 ollas, cubeta de 20 litros, recipientes (bolsas de hule), 20 litros de agua, 2 litros de jugo de limón.



Figura 26. Estufa ecológica.

Procedimientos: Preparación de la papa a deshidratar para el pretratamiento de blanqueado/escaldado y jugo de limón. Se retira la cascara de la papa con ayuda de un pelador, procurar solo retirar la cascara, cortar en rodajas con ayuda del cuchillo (figura 27) y respectivamente utilizar una regla para medir los cortes de las rodajas a 3 milímetros de grosor aproximadamente (figura 28) y guardar las rodajas en bolsa sellándolas herméticamente.



Figura 27. Rodajeando las papas.



Figura 28. Papas rodajeadas aproximadamente 3mm.

Para la solución del 10% de jugo de limón, se llena un recipiente con agua con dicha solución, en seguida, se prepara la estufa ecológica (figura 29) y se coloca una olla llena de agua. Mantener el fuego constante y esperar que llegue el agua a su punto de ebullición, medir con el termopar (85 - 100 °C) (figura 30 y 31), cuando hierve se retiran las rodajas de su recipiente para ser sumergidas en el agua en ebullición con una duración de 5 minutos y retirar, se sumerge cada rodaja de papa en el recipiente con agua y solución de 10% de jugo de limón (figura 32), con una duración de 10 min, se escurre y se retira el agua abundante, se pesa la cantidad total de producto a deshidratar antes de ponerlas en las bandejas del secador.

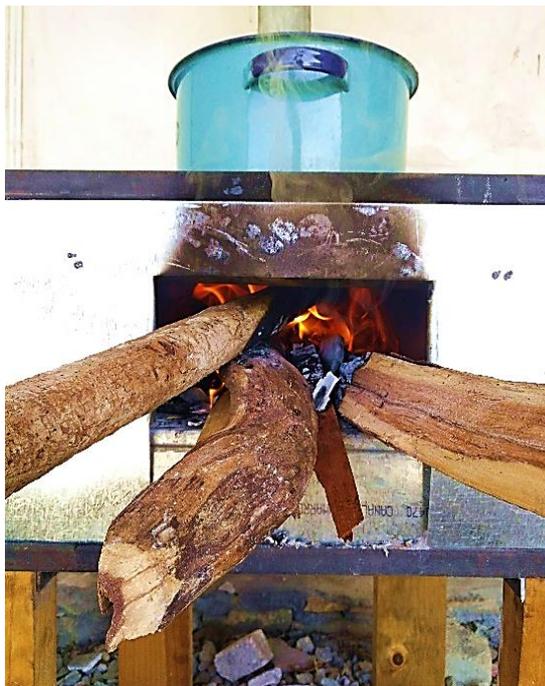


Figura 29. Preparación de estufa ecológica.



Figura 30. Papas rodajeadas en agua hirviendo con el método de pretratamiento casero de blanqueado/escaldado.

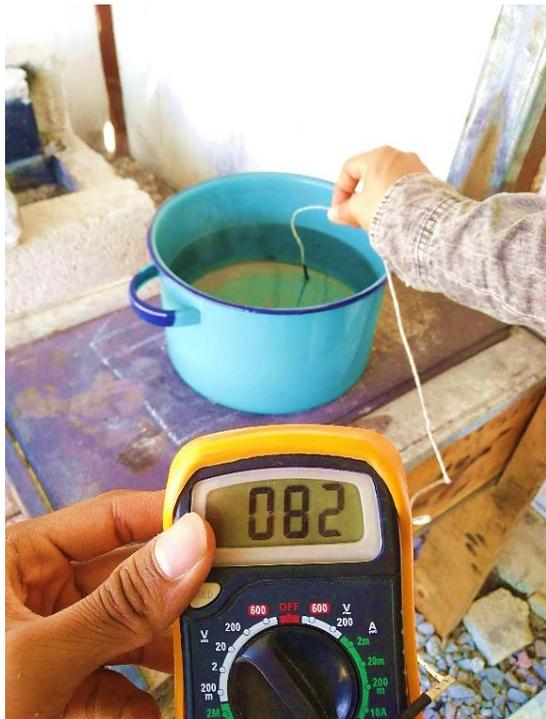


Figura 31. Medición del agua en su punto de ebullición con el termopar.



Figura 32. Agua de ácido cítrico casero (jugo de limón).

Deshidratado de papa: Con las bandejas afuera de la cámara de secado, se coloca individualmente las rodajas en cada charola, cubriendo toda la superficie, cada rodaja debe tener al menos 0.5 cm aproximadamente de separación entre ellas, llenando todas las bandejas del secador (figura 33), durante el proceso de secado, se selecciona una rodaja de papa como una muestra (figura 34) para las mediciones durante el proceso de deshidratado, obteniendo resultados de temperatura con el termopar (figura 35 y 36) y en la báscula el peso inicial de la muestra, registrando peso, radiación y temperatura cada 20 o 30 minutos hasta que las mediciones del peso sean constantes indicando que la papa se ha deshidratado, en seguida, pesar la cantidad de producto deshidratado.



Figura 33. Papas acomodadas en las bandejas de la cámara de secado.

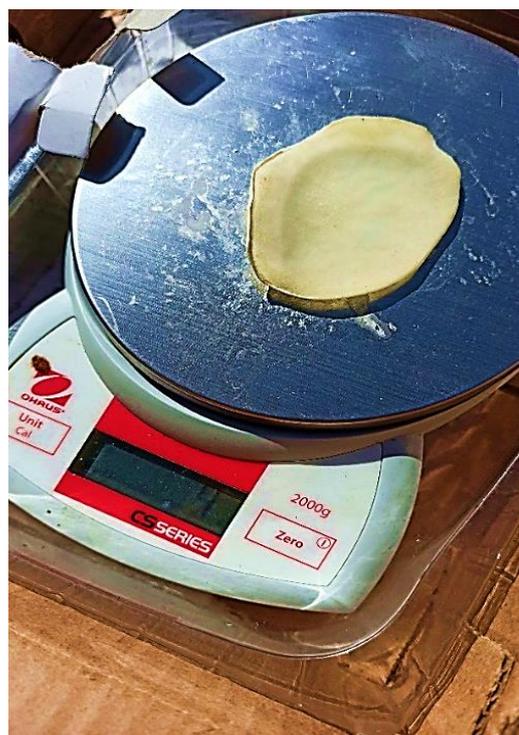


Figura 34. Peso del producto de muestra.



Figura 35. Medición de temperatura en la cámara de secado.



Figura 36. Temperatura de la cámara de secado.

Pretratamiento En Laboratorio, Acidificación (Ácido Cítrico)

El proceso del pretratado del producto se lleva a cabo en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales (LIDPF) de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos en la UNICACH.

Se utiliza ácido cítrico en polvo de reactivos MEYER (figura 38) para hacer la solución en agua y sumergir las rodajas del producto para evitar la oxidación, se utiliza mandolinas de madera (rallador) (figura 37) para tener un grosor uniforme en todas las rodajas, cacerolas, guantes de látex, cubre boca y bata de laboratorio.



Figura 37. Mandolinas de madera.

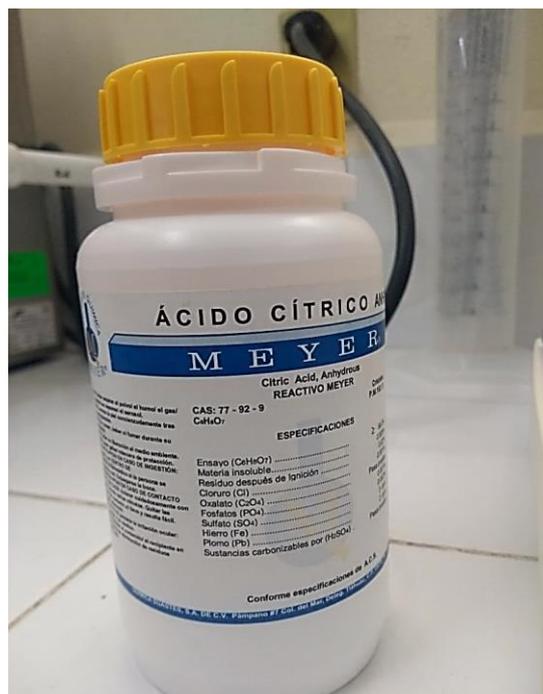


Figura 38. Ácido cítrico.

Procedimientos: Contando con el equipo personal (bata, guantes de látex, cubre boca), para la disolución del ácido cítrico; en un litro de agua se colocan 5 gramos de ácido cítrico en polvo y posteriormente se mezclan. Dos kilogramos de papa, se limpian y quita la cáscara, utilizando el pelador, con el rebanador rodajearlas con un grosor de 1 o 2 mm (figura 39) y en seguida sumergirlas en la solución del ácido cítrico (figura 40) reposando 10 minutos como mínimo manteniéndolas en el recipiente. Se pesa el producto total antes de ser deshidratado (figura 41), posteriormente, se preparan las bandejas del secador, con guantes se sacan cuidadosamente cada rodaja colocándolas en las bandejas llenando por completo el secador solar y se hace las mediciones correspondientes durante el deshidratado del producto (figura 42).



Figura 39. Rodajeando la papa con mandolina.



Figura 40. Papas rodajeadas en solución de ácido cítrico.

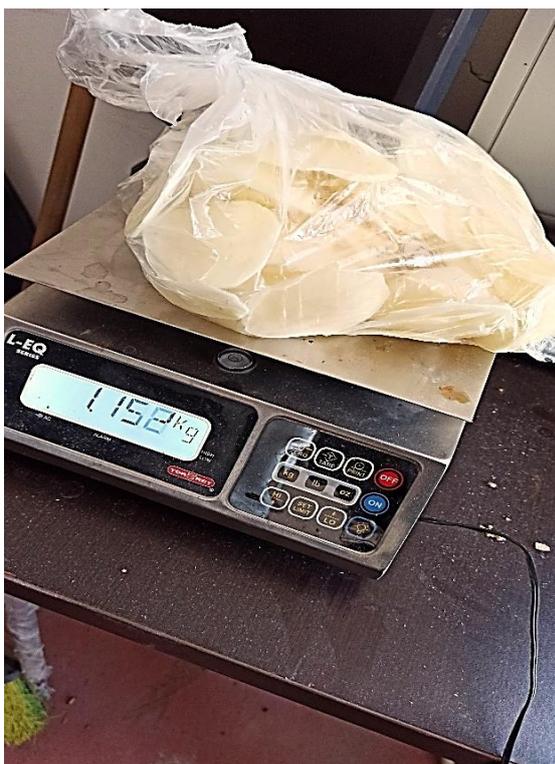


Figura 41. Peso total del producto antes del deshidratado.



Figura 42. Medición de temperatura en la cámara de secado.

Pretratamiento Casero, Ácido Orgánico (Jugo De Limón Natural)

Para evitar la oxidación del producto, se aplicó el método de pretratamiento de ácido orgánico con jugo de limón natural, que hace un efecto para la conservación del producto y mantenga su color y olor natural. Este proceso se llevó a cabo en las instalaciones del IIER de la UNICACH.

Para la preparación de la malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) (figura 43 y 44) se utiliza cuchillo, pelador, limones, exprimidor de limón, jarra de dos litros, un litro de agua.



Figura 43. Malanga (*Xanthosoma sagittifolium*).



Figura 44. Malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) pelada.

Procedimientos: La preparación de la malanga a deshidratar (figura 45). Se retira la cáscara para rodajear la malanga con ayuda del pelador o de un cuchillo con un grosor de 2 o 1 milímetro aproximadamente (figura 46). La preparación de la solución del pretratado de ácido orgánico, se exprime un limón en un litro de agua, para sumergir las rodajas del producto en el recipiente durante 10 minutos como mínimo (figura 47 y 48). Se colocan las rodajas de malanga en las bandejas del secador llenándolas por completo, así mismo, se procede con las mediciones correspondientes.



Figura 45. Peso total de la malanga.



Figura 46. Rodajeando la malanga con pelador.



Figura 47. Exprimiendo limón en recipiente con un litro de agua.



Figura 48. Rodajas de malanga sumergidas en jugo de limón.

Para el proceso de deshidratado del producto, se coloca en toda la superficie de las bandejas del secador solar con las respectivas separaciones entre cada rodaja (figura 49 y 50). Se selecciona las rodajas de la malanga como muestras para las mediciones del peso durante su deshidratado (figura 51), así mismo, se mide la radiación y las temperaturas en cada punto del secador solar (figura 57 y 58), de igual manera, se registra el peso de la muestra hasta que sea constante señalando que la malanga se ha deshidratado (figura 53).



Figura 49. Colocando las rodajas de malanga en las bandejas del secador solar.



Figura 50. Malanga colocada en el secador solar directo.

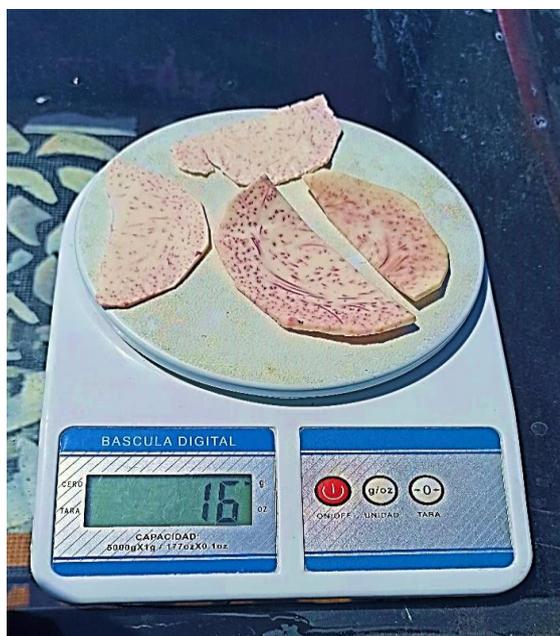


Figura 51. Peso inicial de las muestras del producto.



Figura 52. Observación del producto deshidratado por la ventanilla del secador solar.



Figura 53. Peso final de las muestras deshidratadas.



Figura 54. Producto deshidratado.

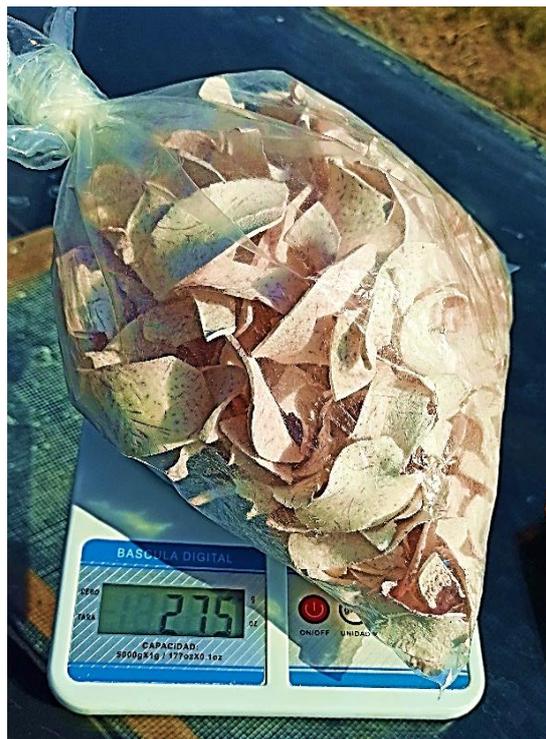


Figura 55. Peso total del producto deshidratado.

Curva De Secado

Se calcula la humedad con los datos del peso de la muestra a cada 20 o 30 minutos utilizando la ecuación de humedad y se grafica los datos obtenidos de la medición de temperaturas en la cámara de secado, la pérdida de humedad de la muestra en cada medición y relacionando con la radiación.



Figura 56. Colocando el producto en las bandejas de la cámara de secado.



Figura 57. Medición de la radiación solar con el solarímetro.



Figura 58. Medición de temperatura en la cámara de secado en secador solar directo.



Figura 59. Proceso de deshidratado del producto en secador solar directo.

Aprovechamiento De Los Tubérculos Deshidratados

Se define cual pretratado es el ideal para la papa y la malanga (figura 60 y 62), tanto el corte adecuado, el grosor de cada rodaja y el tiempo adecuado de la deshidratación dentro de la cámara de secado. Obteniendo el producto deshidratado, se guarda herméticamente en lugar seco y se define cuál de los productos obtenidos de cada secador solar es el adecuado para elaborar harinas o frituras de acuerdo a sus características (color y olor) (figura 61 y 63).

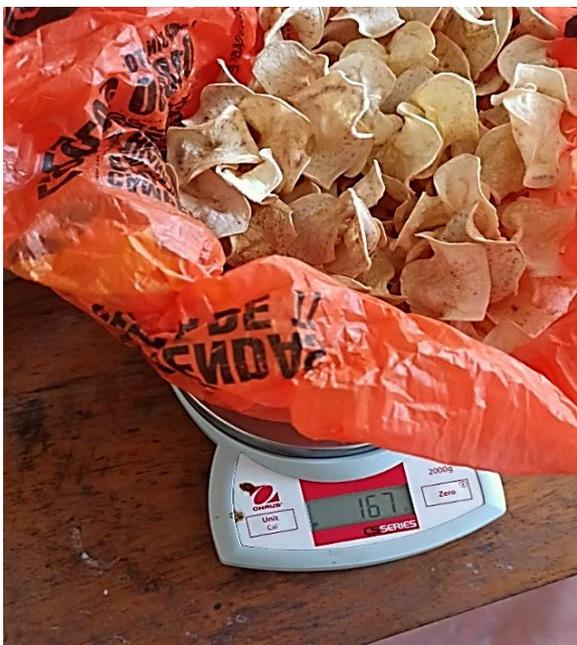


Figura 60. Peso total de la papa deshidratada.



Figura 61. Harina de papa.

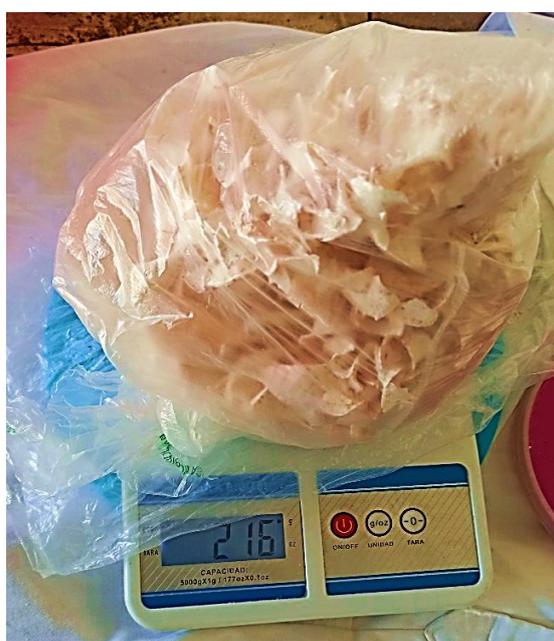


Figura 62. Peso total de la malanga deshidratada.



Figura 63. Harina de malanga.

CAPÍTULO IV: Resultados Y Discusiones

Los resultados que se obtuvieron en las primeras pruebas fueron de manera poco satisfactorio debido a que hubo problemas en el producto deshidratado. Una vez analizando los errores, se corrigió el detalle del proceso del pretratado para seguir con más pruebas, con el fin de que el producto se encuentre en un buen estado.

Deshidratado De Papa Con El Método Casero De Blanqueado/Escaldado Con Jugo De Limón

En los primeros resultados (tabla 4, 5 y 6), las pruebas en el deshidratado del producto (papa) se llevó a cabo en los días 17, 24 y 31 de enero del año 2020. El pretratado se realizó en las instalaciones del IIIER de la UNICACH

Tabla 4. Resultados de la primera prueba de medición en secador solar indirecto sin producto.

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²
	Entrada	Medio	Salida	
11:00	36	43	44	731
11:20	37	45	46	768.4
11:40	39	44	45	792.3
12:00	39	46	48	797.6
12:20	40	48	47	729.8
12:40	40	52	50	772.4
13:00	40	53	49	785.1
13:20	41	58	56	746.3
13:40	39	65	54	756.2
14:00	38	62	59	779.5
14:20	38	65	56	723.5
14:40	41	65	57	733.7
15:00	40	72	60	720.9
15:20	41	64	61	753.8
15:40	38	57	56	723.7
16:00	36	53	52	552
16:20	35	47	44	472.8
16:40	31	42	42	389.7
17:00	30	36	36	308.2
17:20	29	30	31	251.9
17:40	27	30	27	100.9

En la tabla representa los valores de la medición de temperatura y su comportamiento dentro del secador solar en 3 diferentes puntos: temperatura ambiente (entrada del secador),

temperatura dentro del colector (medio) y temperatura de la salida del colector (salida). De igual manera, la radiación solar que incide sobre el secador que no hay mucha diferencia durante las 11 hasta las 15:40 horas entre $700 \frac{W}{m^2}$, notando que la temperatura varía, ya que en esta temporada se nubla seguido. Se puede aprovechar el calor empezando horas antes.

Observamos en la gráfica (figura 64) el comportamiento de las temperaturas como va aumentando dentro del secador solar y como la radiación solar disminuye durante el transcurso del día, teniendo el punto más alto de temperatura dentro del colector a las 15 horas con más de $70 \text{ }^\circ\text{C}$ y el punto más bajo fue con $30 \text{ }^\circ\text{C}$ a las 17:40 horas del día, con una temperatura constante durante las 11 a 16 horas.

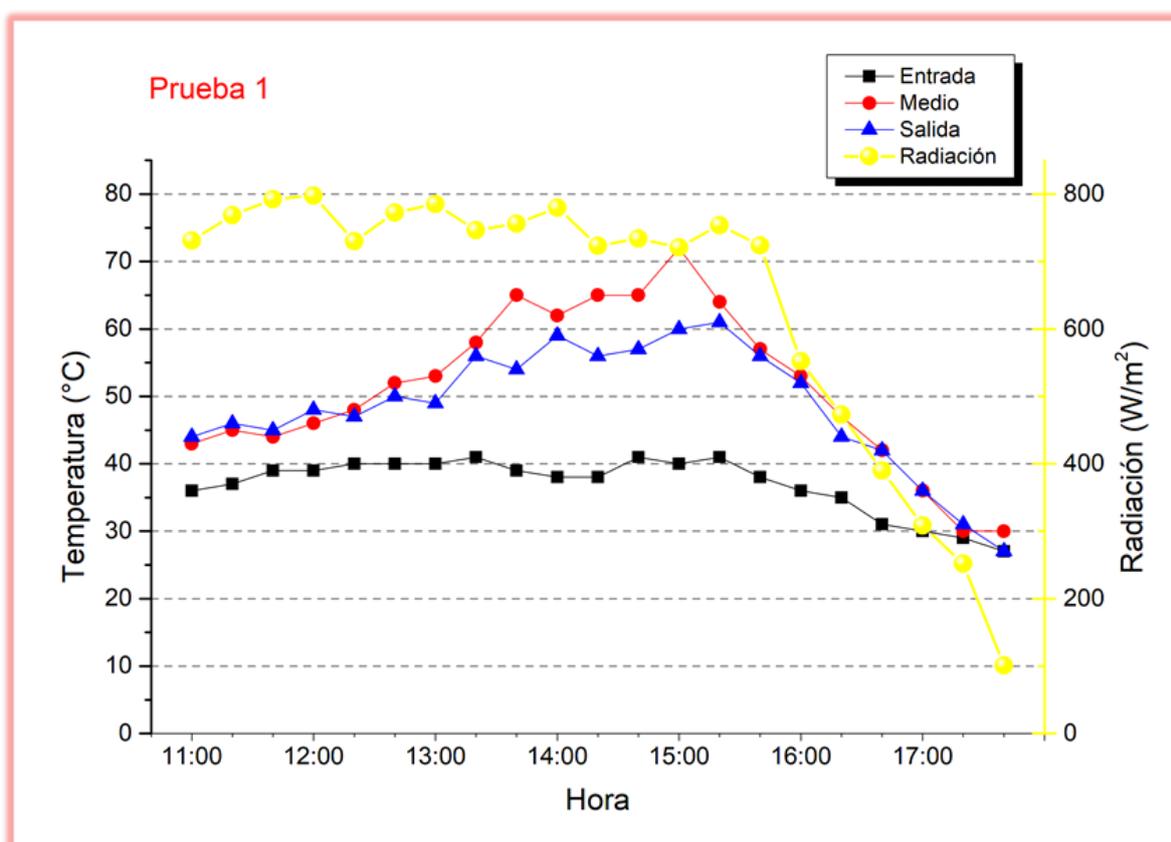


Figura 64. Gráfica de temperatura y radiación sobre el tiempo de la primera prueba.

Tabla 5. Resultados de la segunda prueba de medición de papa con grosor de 3 milímetros en secador solar indirecto con pretratamiento casero de blanqueado/escaldado.

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²	Peso g	Humedad %
	Entrada	Medio	Salida			
8:00	26	28	28	192.9	13	92.30769
8:20	26	28	28	219.5	13	92.30769
8:40	27	28	29	345.7	13	92.30769
9:00	30	36	37	420.7	12	85.2071
9:20	29	34	33	280.7	12	85.2071
9:40	30	36	36	533.5	12	85.2071
10:00	31	37	38	615.1	11	78.10651
10:20	31	43	42	626.9	11	78.10651
10:40	32	45	45	657.2	11	78.10651
11:00	33	48	47	600.2	10	71.00592
11:20	35	51	54	634.8	10	71.00592
11:40	38	58	58	659.1	9	63.90533
12:00	39	59	58	698.6	9	63.90533
12:20	37	62	60	667	8	56.80473
12:40	38	58	54	659.2	8	56.80473
13:00	40	55	53	646.3	8	56.80473
13:20	37	57	50	636.7	7	49.70414
13:40	42	65	60	661.5	7	49.70414
14:00	42	65	58	678.4	6	42.60355
14:20	44	64	57	673.8	6	42.60355
14:40	44	62	59	579.1	6	42.60355
15:00	41	59	57	518.7	5	35.50296
15:20	39	57	56	460.8	5	35.50296
15:40	39	56	55	434.5	4	28.40237
16:00	37	57	53	350.2	4	28.40237
16:20	34	53	53	414.2	3	21.30178
16:40	32	52	51	265.3	2	14.20118
17:00	30	45	49	217.9	2	14.20118
17:20	28	37	36	144.6	1	7.10059
17:40	28	34	32	47.1	1	7.10059

Los resultados de la tabla muestran las mediciones de temperaturas, radiación, peso y su humedad durante el tiempo de deshidratado en el secador solar durante 10 horas con intervalos de 20 minutos. La reducción de la humedad y del peso en gramos de una muestra de papa con dicho grosor y un pesor inicial de 13 gramos y concluyó con 1 gramo. Aprobando la radiación solar desde las 8 horas hasta las 17:40 horas del día, teniendo su máxima radiación de 698.6 $\frac{W}{m^2}$ a las 12:40 horas del día con 58 °C, se obtuvo una temperatura promedio de 48.96 °C, mostrando pérdida de peso de un gramo a cada hora inicialmente, con forme a la radiación se

mantiene constante se eleva la temperatura dentro del secador disminuyendo un gramo del producto cada 40 minutos hasta llegar a su deshidratación. En la prueba se deshidrató 1217 g de papa húmeda obteniendo 203 g de papa deshidratada con una textura muy rígida y un cambio de color muy severo indicando la oxidación en el deshidratado.

En la gráfica (figura 65) se obtuvo la curva de las temperaturas y radiación solar durante un periodo de 10 horas continuas, de acuerdo al tiempo de deshidratado de papa, se observa la reducción de la humedad y el peso de la muestra. Obteniendo un deshidratado constante hasta llegar a 1 gramo de la muestra seleccionada, durante las 11 a 15 horas la temperatura de la cámara de secado es mayor que la temperatura de salida, donde claramente la energía térmica estuvo absorbiendo la papa durante su deshidratado.

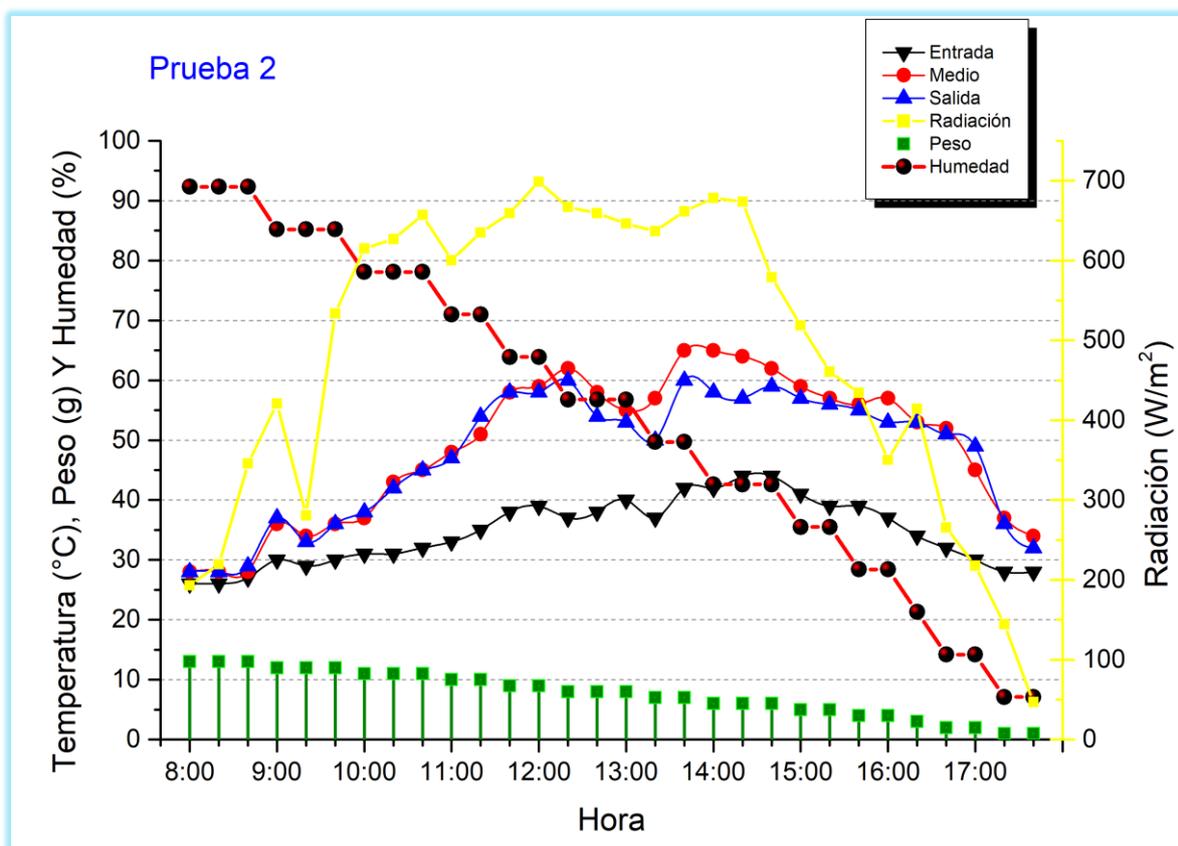


Figura 65. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo en la segunda prueba del producto.

Tabla 6. Resultados de la tercera prueba de medición de papa con un grosor de 2 milímetros en secador solar indirecto con pretratamiento casero de blanqueado/escaldado.

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²	Peso g	Humedad %
	Entrada	Medio	Salida			
11:00	36	42	44	743.2	6	83.33333
11:20	36	43	43	732.8	6	83.33333
11:40	37	43	44	753.9	6	83.33333
12:00	37	45	43	765.8	6	83.33333
12:20	38	45	42	791.1	5	69.44444
12:40	40	53	47	782.4	5	69.44444
13:00	38	54	46	796.2	5	69.44444
13:20	41	65	47	776.3	4	55.55556
13:40	39	63	50	749	4	55.55556
14:00	38	60	56	759.7	4	55.55556
14:20	38	58	54	689.3	3	41.66667
14:40	36	56	53	578.8	3	41.66667
15:00	36	52	50	515.7	2	27.77778
15:20	34	48	49	487.1	2	27.77778
15:40	35	48	49	426.9	2	27.77778
16:00	33	46	46	382.6	2	27.77778
16:20	34	47	43	300.1	2	27.77778
16:40	31	45	42	284.5	2	27.77778
17:00	28	39	38	232.6	2	27.77778
17:20	26	38	37	207.7	2	27.77778
17:40	25	37	36	153.5	1	13.88889
18:00	24	35	35	59.8	1	13.88889

La tabla muestra los datos obtenidos durante 7 horas de deshidratado de papa con mediciones correspondientes cada 20 min, se aprovechó las horas del día con mayor radiación solar, se registró su máxima de 796.2 $\frac{W}{m^2}$ a las 13 horas del día. Se obtuvo temperaturas en medio del secador entre 35 hasta 65 °C que fue la temperatura más alta a las 13:20 horas, con un promedio de 48 °C, posteriormente fue disminuyendo. De acuerdo a la muestra seleccionada de 6 gramos concluyó en 1 gramo, la reducción del peso y la humedad de la papa se nota que tardó igual que la prueba anterior, con una duración de una hora en su primera disminución de 1 gramo y después cada 40 minutos hasta que se registró un peso restante de 2 g, por consiguiente, a las 18 horas alcanza 1 g y visualmente la papa se deshidrató completamente. En la prueba se deshidrató 1300 g de papa a base húmeda, obteniendo 245 g de papa deshidratada con una textura muy rígida y un cambio de color muy severo indicando oxidación en el producto.

En la gráfica (figura 66) se determinó el momento de la reducción del peso y humedad de la papa dentro de la cámara de secado, incluyendo la radiación que incide sobre el secador solar indirecto. Se obtuvo un deshidratado de producto de 7 horas, aunque la temperatura no sobrepasó los 70 °C.

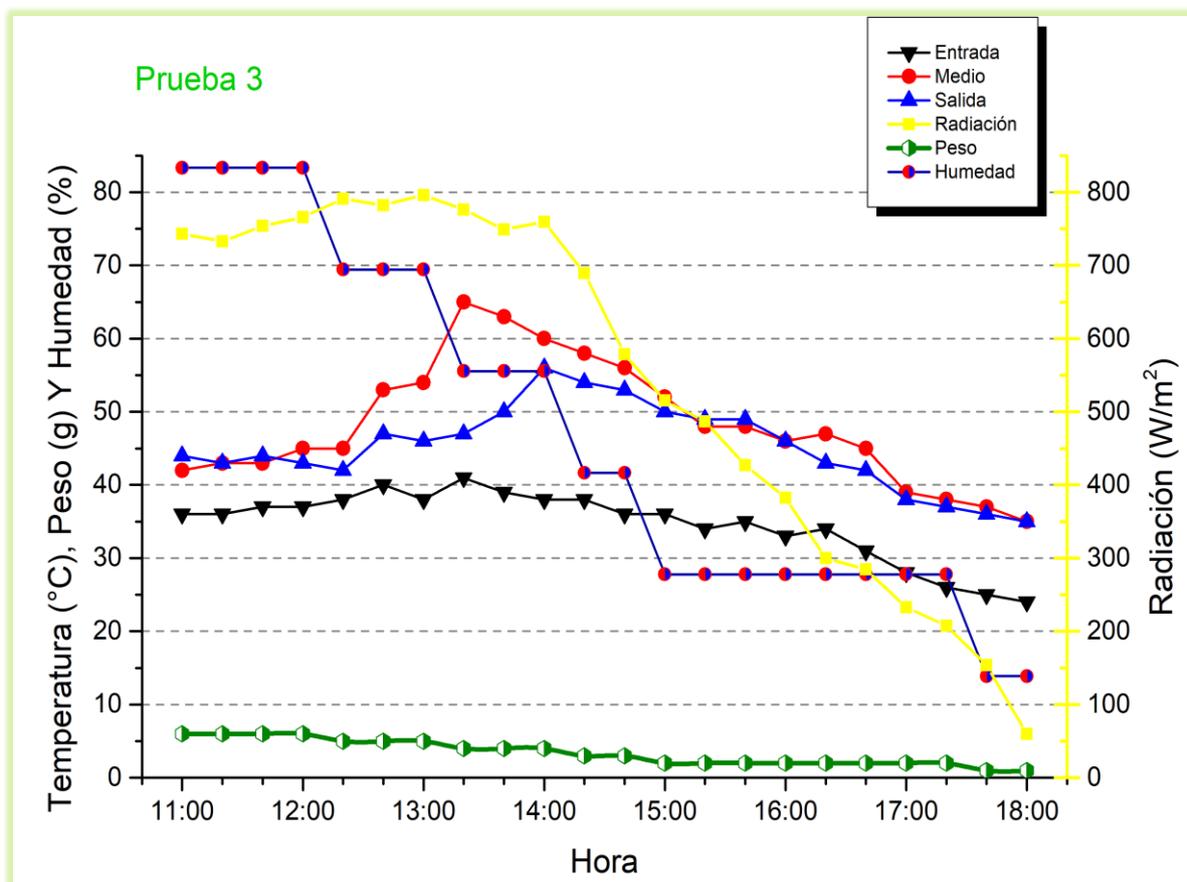


Figura 66. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la tercera prueba del producto.

Deshidratado De Papa Con El Método De Acidificación (Ácido Cítrico) En Laboratorio

En los siguientes resultados (tabla 7 y 8), las pruebas en el deshidratado del producto (papa) se llevó a cabo en los días 7 y 14 de febrero del año 2020. El pretratado de las papas fue en el LIDPF de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la UNICACH.

Tabla 7. Resultados de la cuarta prueba de medición de papa con un grosor de 2 milímetros en secador solar indirecto con pretratamiento de acidificación (ácido cítrico).

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²	Peso g	Humedad %
	Entrada	Medio	Salida			
13:00	32	64	49	980.2	7	85.71429
13:30	41	83	60	951.5	5	61.22449
14:00	40	87	64	1022.3	4	48.97959
14:30	41	76	65	838.4	3	36.73469
15:00	37	68	59	437.7	2	24.4898
15:30	34	50	49	245.6	2	24.4898
16:00	36	65	56	344.1	1	12.2449
16:30	33	43	49	331.8	1	12.2449
17:00	30	35	37	157.9	1	12.2449
17:30	28	31	33	22.4	1	12.2449
18:00	22	32	31	12.1	1	12.2449

En los resultados que se muestran en la tabla, los datos que se obtuvo de la temperatura, radiación, peso y humedad durante la prueba de deshidratado de papa con dicho grosor aproximados que se rebanó con una mandolina. La prueba tardó 4 horas con mediciones de 30 minutos, aprovechando la radiación solar después del medio día empezando desde las 13 hasta las 18 horas del día, se obtuvo altas temperaturas en medio del secador de 64 °C y se registró la radiación con $980.2 \frac{W}{m^2}$. Durante de una hora de deshidratado se alcanzó una temperatura más alta con 87 °C y una radiación de $1022.3 \frac{W}{m^2}$, así mismo, el promedio de temperatura fue de 57.63 °C. Se inició con una muestra de peso inicial de 7 gramos y finalizando con 1 gramo. Se aprovechó las 3 horas y media con mayor temperatura dentro del secador, se observó como la humedad y el peso del producto fueron disminuyendo rápidamente perdiendo 2 gramos en la primera hora. En la prueba se deshidrató 1150 g de papa a base húmeda, se obtuvo 164 g de papa deshidratada con una mejor calidad en el producto deshidratado en el color y textura indicando una buena deshidratación.

Mediante los datos obtenidos, se observa en la gráfica (figura 67) el incremento de temperatura dentro de la cámara de secado y fue muy elevada sobrepasando los 70 °C, se registró una radiación máxima de $1022.3 \frac{W}{m^2}$ a las 14 horas y disminuyendo rápidamente en las siguientes horas. De igual manera, se determina la curva de humedad del producto y la reducción del peso en un tiempo de 3 horas y media, iniciando con una humedad 85% hasta el final de 12.24%.

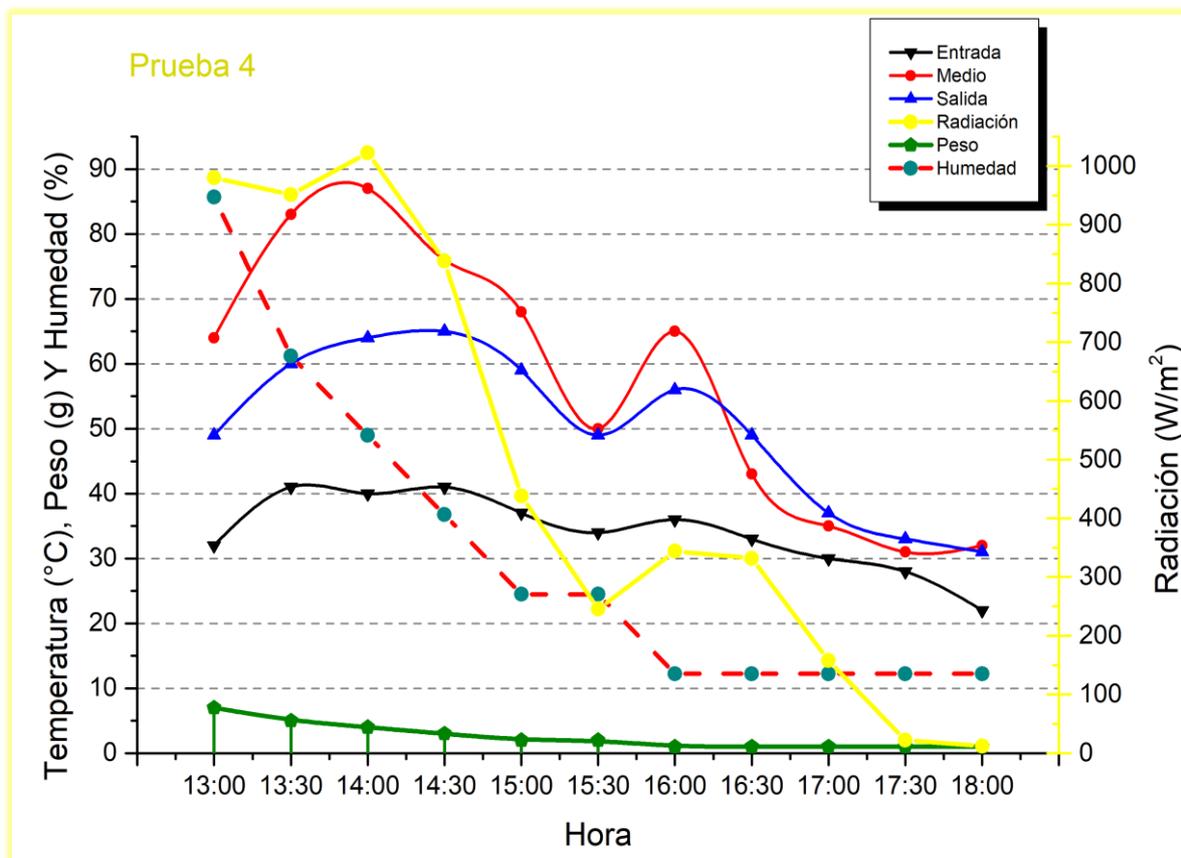


Figura 67. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la cuarta prueba del producto.

Tabla 8. Resultados de la quinta prueba de medición de papa con un grosor de 2 milímetros en secador solar directo con pretratamiento de acidificación (ácido cítrico).

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²	Peso g	Humedad %
	Entrada	Medio	Salida			
11:00	34	50	50	1220	8	87.5
11:20	37	67	57	1046	7	76.5625
11:40	39	70	63	1041	5	54.6875
12:00	38	60	63	1070	5	54.6875
12:20	39	72	63	1061	4	43.75
12:40	41	89	69	1004	3	32.8125
13:00	40	85	73	950.3	2	21.875
13:20	38	78	72	901.6	2	21.875
13:40	38	76	74	877.1	2	21.875
14:00	38	75	76	822.8	1	10.9375
14:20	36	71	68	835.2	1	10.9375
14:40	39	73	66	760.4	1	10.9375
15:00	36	57	55	588.7	1	10.9375

La tabla muestra las mediciones de temperatura, radiación, peso y humedad de la prueba con el secador solar directo, con una duración de 3 a 3 horas y media aproximadamente ya que alcanza su peso y humedad mínima pasando la muestra seleccionada de 8 gramos de peso inicial a 1 gramo, manteniéndose así hasta la última medición. Abarcando horas de alta radiación solar en el día empezando desde las 11 hasta las 16 horas. Su temperatura promedio fue 65.25 °C, se obtuvo una temperatura inicial dentro del secador de 50 °C incrementando y sobrepasando los 80 °C que su reducción de peso de la muestra del producto fue notable. La radiación más alta se registró al principio de las mediciones a las 11 horas del día con 1220 $\frac{W}{m^2}$ y se descendió levemente. En esta prueba se deshidrató 850 g de papa a base húmeda y se finalizó con 108 g de papa deshidratada, al mantener su calidad de color natural y textura adecuada para quebrarse en la elaboración de harina.

En la siguiente gráfica (figura 68) se inició con el incremento tanto de la radiación solar como de la temperatura de la cámara de secado con una máxima de 89 °C, deshidratando el producto en pocas horas. Se obtuvo un máximo de radiación de $1220 \frac{W}{m^2}$ y la mínima de $597.3 \frac{W}{m^2}$. Se determinó como la humedad se disminuye rápidamente y quedando constante en las últimas dos horas.

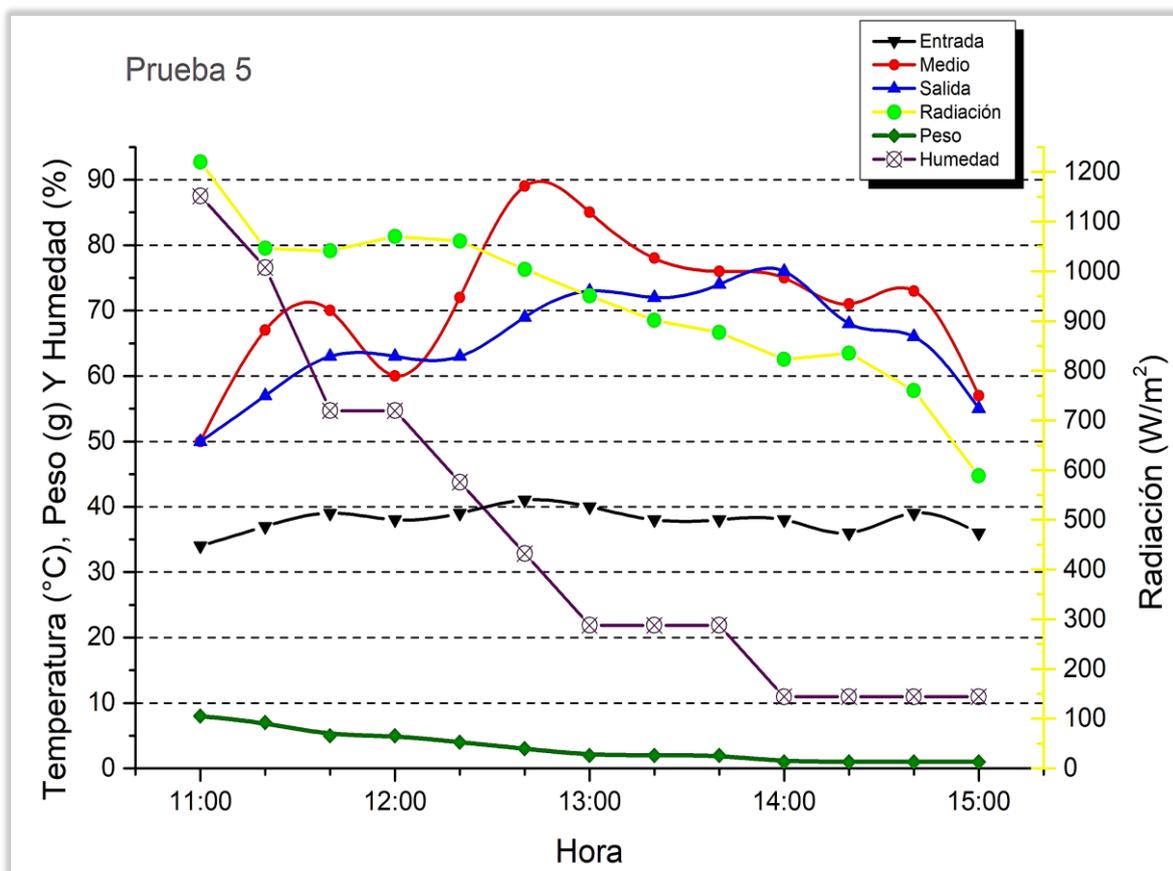


Figura 68. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la quinta prueba del producto.

Deshidratado De Malanga Con El Método De Acidificación (Ácido Cítrico) En Laboratorio

En la siguiente prueba (tabla 9) del deshidratado del producto (malanga) se llevó a cabo en el día 18 de marzo del año 2021. Dicho pretratamiento se elaboró en el LIDPF de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la UNICACH.

Tabla 9. Resultados de la sexta prueba de medición de malanga con un grosor de 1 milímetro en secador solar directo con pretratamiento de acidificación (ácido cítrico).

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²	Peso g	Humedad %
	Entrada	Medio	Salida			
13:00	45	53	46	690.9	13	84.61538
13:30	46	63	55	701.2	9	58.57988
14:00	42	56	50	611.4	7	45.56213
14:30	38	54	50	657.2	6	39.05325
15:00	37	53	53	609.3	4	26.0355
15:30	39	58	56	598.1	3	19.52663
16:00	40	52	50	587.7	3	19.52663
16:30	38	50	47	607.8	2	13.01775
17:00	35	48	42	570.5	2	13.01775

La duración del deshidratado fue en 3 horas y media, con mediciones a cada 30 minutos, se inició con un peso desde 13 gramos a 2 gramos. Se llevó a cabo con la medición después del medio día, empezando desde las 13 hasta las 17 horas del día alcanzando su peso mínimo de la muestra a las 16:30 horas. Se obtuvo una radiación solar máxima en la segunda medición con $701.2 \frac{W}{m^2}$, sin embargo, la temperatura dentro de la cámara de secado fue casi contante ya que su mínimo fue de 48 °C y su máximo de 63 °C, se determinó un promedio entre los 54.11 °C. En esta prueba se deshidrató 482 g de malanga en peso húmedo y teniendo 128 g de malanga deshidratada de buena calidad al mantener su color natural y textura deseada para hacerse harina.

En la gráfica (figura 69) observamos la temperatura fue casi constantemente, se llegó a los 63 °C como el máximo, así mismo, la humedad y el peso disminuyó de buena forma y el producto se deshidrató en pocas horas.

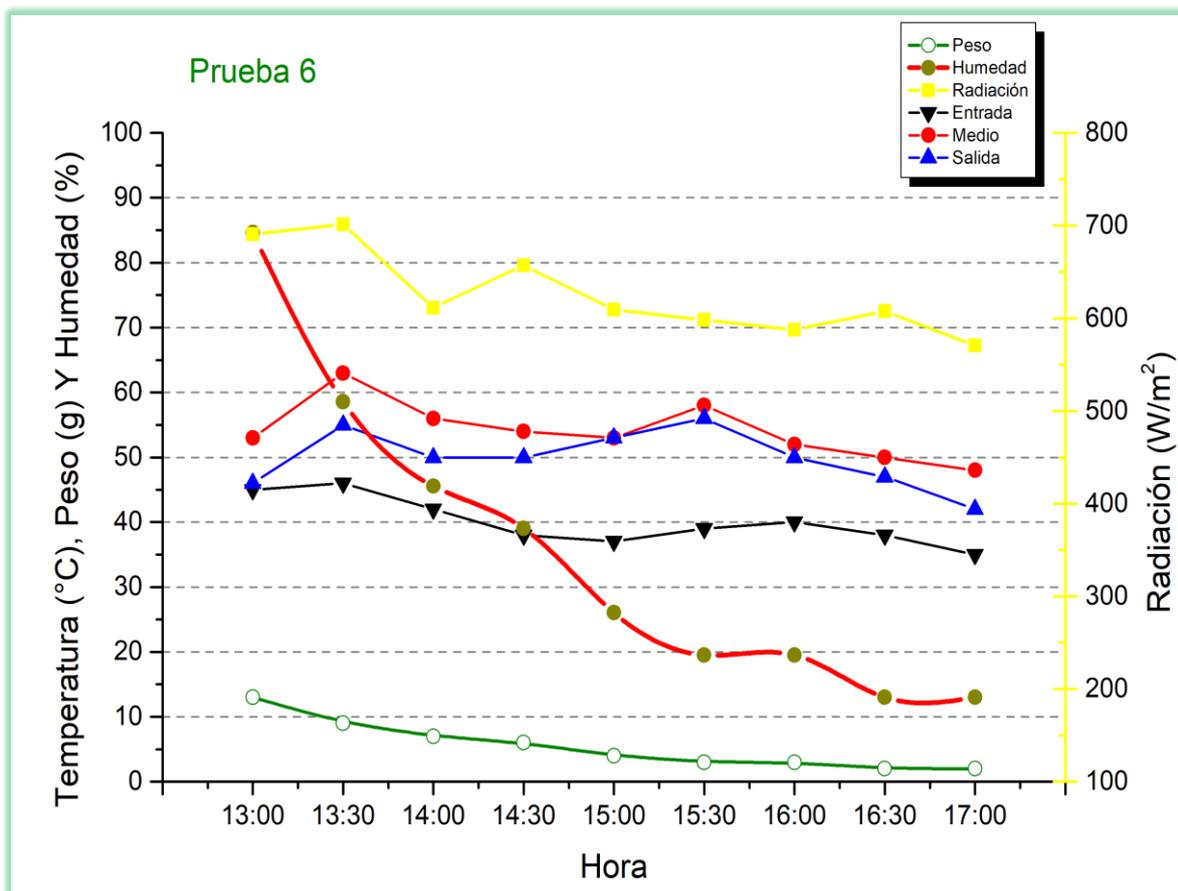


Figura 69. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la sexta prueba del producto.

Deshidratado De Malanga Con El Método Casero De Ácido Orgánico Con Jugo De Limón Natural

El pretratado se realizó en las instalaciones del IIER de la UNICACH. Dichas pruebas del deshidratado del producto (malanga) se llevó a cabo en los días 22 y 23 de marzo del 2021 (tabla 10 y 11).

Tabla 10. Resultados de la séptima prueba de medición de malanga con un grosor de 1 milímetro en secador solar indirecto con pretratamiento de ácido orgánico.

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²	Peso g	Humedad %
	Entrada	Medio	Salida			
10:00	42	50	39	749.5	13	76.92308
10:30	45	54	48	858.4	11	65.08876
11:00	46	59	51	923.5	8	47.33728
11:30	49	63	59	981.1	6	35.50296
12:00	46	64	58	804.4	5	29.5858
12:30	50	71	65	811.6	4	23.66864
13:00	44	65	62	800.6	3	17.75148
13:30	43	67	62	773.2	3	17.75148
14:00	39	64	58	820.2	3	17.75148

La tabla muestra los resultados de la prueba de malanga con duración de 4 horas con mediciones cada 30 minutos, su deshidratado fue en 3 horas quedando en un peso inicial de 13g finalizando con 3g en la muestra del producto. Se observó como disminuye considerablemente 7 gramos en la primera hora y media durante la radiación que estuvo en sus máximos puntos obteniendo su pico máximo a las 11:30 horas del día con $981.1 \frac{W}{m^2}$. Se registró en ese momento una temperatura dentro de la cámara de secado con 63 °C, la temperatura promedio dentro de la cámara fue de 61.88 °C, así, su máximo de 71 °C y su mínimo de 50 °C. Sin embargo, la humedad de la inicial de la muestra fue de 76.92% quedando al final con 17.75%. En esta prueba se deshidrató 903 g de malanga en peso húmedo y terminó 216 g de malanga deshidratada de buena calidad al mantener su color natural y textura deseada, ya que se realizó con pretratamiento casero de ácido orgánico (jugo de limón natural) para ser replicado en los hogares y, por consiguiente, para hacerse harina.

Se observa en la gráfica (figura 70), el pico de la radiación solar aumentó considerablemente para elevar la temperatura dentro del secador. Así mismo, la radiación disminuyó y se mantuvo casi constantemente. La temperatura media del secador sobrepasó los 60 °C con el fin de deshidratar y disminuir la humedad del producto en pocas horas.

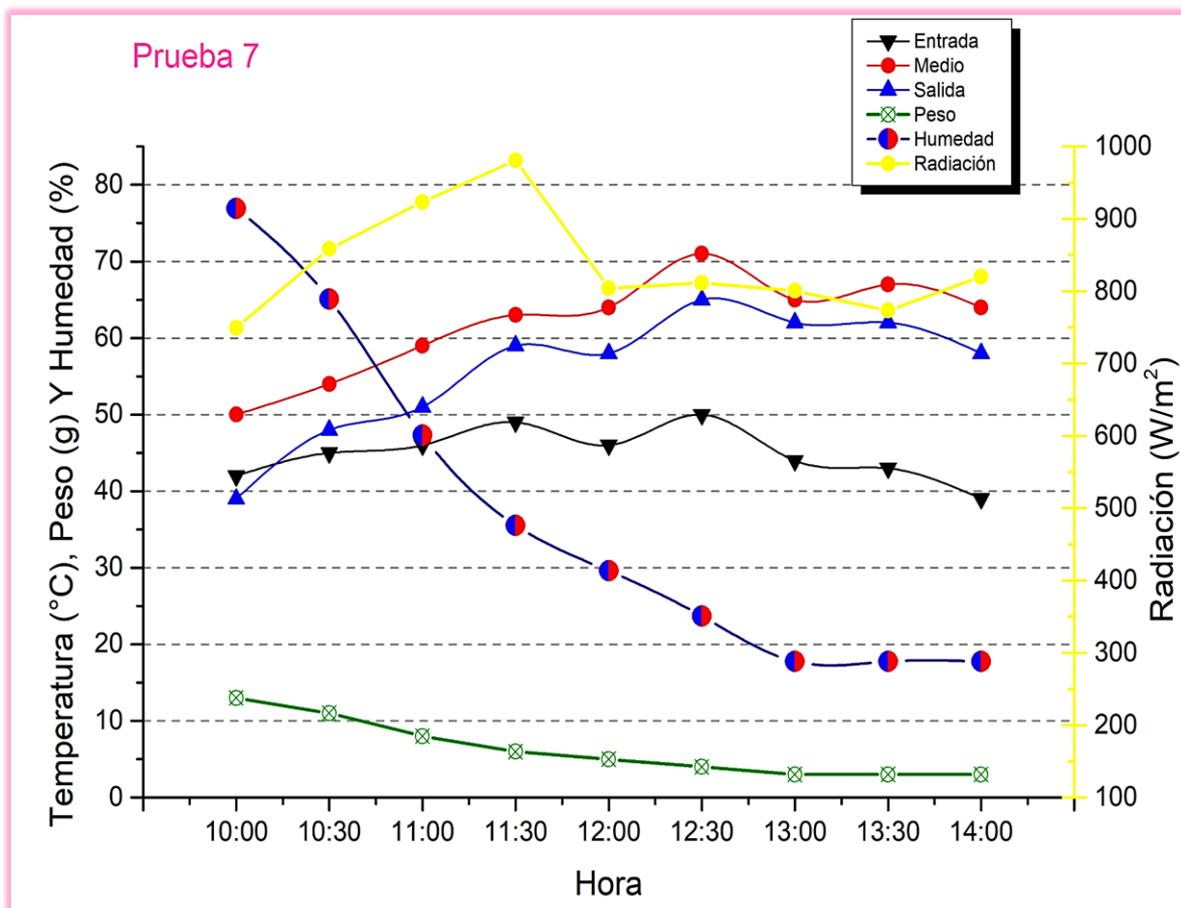


Figura 70. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la séptima prueba del producto.

Tabla 11. Resultados de la octava prueba de medición de malanga con un grosor de 1 milímetro en secador solar directo con pretratamiento de ácido orgánico.

Hora	Temperatura (°C)			Radiación W/m ²	Peso g	Humedad %
	Entrada	Medio	Salida			
11:00	37	62	57	824.7	16	87.5
11:30	39	65	61	878.4	8	43.75
12:00	42	77	69	888.6	6	32.8125
12:30	44	78	71	920.3	5	27.34375
13:00	45	79	68	860.1	4	21.875
13:30	46	83	69	918.8	4	21.875
14:00	47	90	67	862.5	3	16.40625
14:30	44	85	68	840.6	3	16.40625
15:00	40	76	64	824.7	2	10.9375

Los resultados de la prueba se obtuvieron un tiempo de 4 horas aproximadamente con mediciones a cada 30 minutos, aprovechando la radiación solar desde la 11 hasta las 15 horas del día. Con la radiación inicial y final de $824.7 \frac{W}{m^2}$, sin embargo, se obtuvo su punto máximo a las 12:30 horas del día con $920.3 \frac{W}{m^2}$ y respectivamente su temperatura dentro de la cámara de secado de 78 °C. Se alcanzó temperaturas altas desde 62 hasta 90 °C registradas dentro de la cámara de secado, se realizó un promedio de 77.22 °C. El peso inicial de la muestra fue de 16 g y termino con 2 g. En esta prueba se deshidrató 935 g de malanga en peso húmedo y se concluyó con 275 g de malanga deshidratada de buena calidad al mantener su color natural y textura deseada para hacerse harina. Así se consiguió un resultado favorable, ya que se hizo de una manera casera pretratándolo a base de ácidos orgánicos (jugo de limón natural) directo a un litro de agua y con rodajas un poco homogéneas, siendo una elaboración más fácil y puede replicarse en los hogares.

En la gráfica (figura 71), se demostró que la radiación solar se mantuvo arriba de los $800 \frac{W}{m^2}$, se consideró que la temperatura estuvo favorable para la deshidratación del producto, sobrepasó los $80 \text{ }^\circ\text{C}$ dentro de la cámara de secado, mientras que la temperatura máxima del ambiente inicio del colector se registró los $47 \text{ }^\circ\text{C}$. Se obtuvo una gran curva de disminución de la humedad, iniciando los 87.5% y finalizando con 10.93%

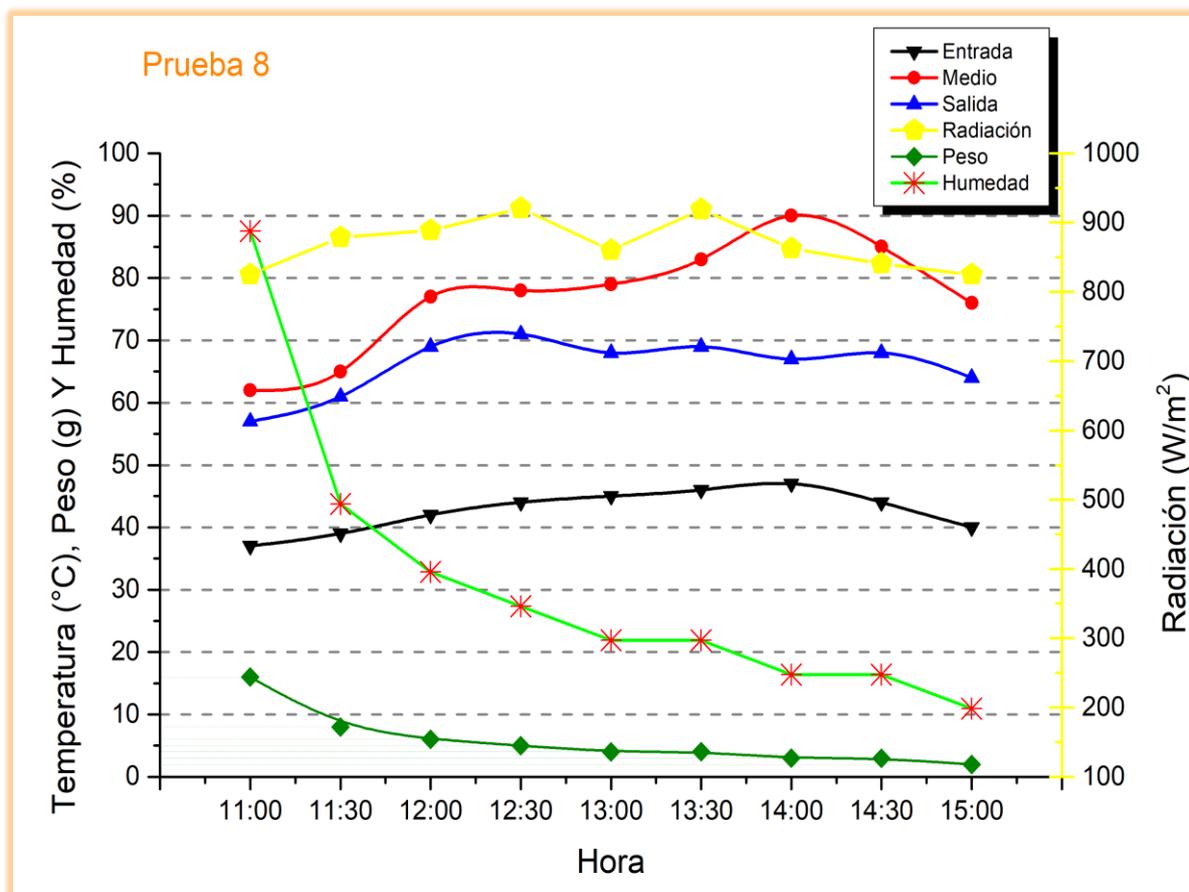


Figura 71. Gráfica de temperaturas, radiación, peso y humedad sobre el tiempo de la octava prueba del producto.

Discusión

Se analizó el resultado que se obtuvo en cada prueba con diferentes métodos de pretratado y tamaños de rebanados del producto, los tipos de secadores, entre otros, con distintos autores deshidratando el mismo producto. Se determinó un buen beneficio como la reducción de tiempo de deshidratado en nuestro secador solar.

Principalmente se obtuvo buen resultado en el secador solar indirecto, reduciendo la duración de deshidratado de 10 horas a 7 horas con el método de blanqueado/escaldado, de igual manera, se realizó una variante en el grosor de las rodajas de la papa, con la primera prueba de 3 milímetros a la segunda prueba con 2 mm. Donde se obtuvo una radiación menor a $800 \frac{W}{m^2}$, desde luego, se concentró el calor en la cámara de secado con temperaturas menores de $65 \text{ }^\circ\text{C}$, ayudó a que el producto se deshidratara. Se inició con una humedad en la muestra del 83.33% finalizando a los 13.88%. La papa se deshidrató de buena manera, por lo contrario, los parámetros visuales no fueron favorables por el oscurecimiento leve, pero con un sabor normalmente favorable.

Por otra parte, se han desarrollado evaluaciones con secador solar autónomos y automatizados para deshidratar papa, en la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Ellos elaboraron el pretratado del producto (papa), con el método del bisulfito (sulfitado), los cortes fueron de manera en trozos, en cubos de 1cm X 1.5cm. Señalaron que la radiación rodeaba de los $72 \frac{W}{m^2}$ a los $880 \frac{W}{m^2}$ y la temperatura alcanzó los 55 a $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Registraron que el deshidratado de papa fue durante 72 horas, obtuvieron una reducción del 70% de humedad inicial hasta el 13% de la humedad final. Consideraron que los parámetros de la calidad alimenticia fueron cumplidos. (Camayo, et al., 2020).

Además de eso, en otra prueba de papa se obtuvo una reducción de tiempo, en 3 horas y 30 minutos de deshidratado en el secador solar indirecto, con el pretratado de acidificación y con un corte de 2 milímetros de grosor, para ello, se registró la radiación máxima con $1022.3 \frac{W}{m^2}$, así mismo, las temperaturas fueron altas, sobrepasando los $80 \text{ }^\circ\text{C}$, con una humedad inicial del 85.71% y finalizando con 12.24%. Se logró una buena calidad en el producto.

Por otro lado, en la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, en el laboratorio de Investigación de Energías Renovables (Hernández, Olvera, Guzmán y Morillón, 2017) señalaron que las rebanadas del producto (papa) eran de 5 milímetros de grosor, las cuales fueron remojadas en solución de hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio. Registraron una

duración de 6 horas de secado, lo cual, los parámetros del producto presentaron buenas características. Registraron valores de la radiación solar elevadas, sobrepasando los $1500 \frac{W}{m^2}$, así mismo, la temperatura de la cámara de secado elevó más de los $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Reduciendo un 70% de su humedad en la papa.

Sin embargo, en la prueba de malanga, se logró un tiempo de 3 horas y media de deshidratado en un secador solar directo. Se utilizó el método de pretratado de acidificación con un grosor en las rebanadas de 1 milímetro. Se registró la radiación solar alrededor de los $600 \frac{W}{m^2}$. Así mismo, la temperatura dentro de la cámara de secado alcanzó los 50 a $60 \text{ }^\circ\text{C}$. El calor ayudó a disminuir la humedad inicial del producto de 84.61% a una humedad final de 13.01%. En los parámetros sensoriales, se obtuvo una excelente calidad en la malanga.

Adicionalmente, en el LIDPF de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos; (López et al., 2019) realizaron harina de malanga, deshidratando el producto en un horno de secado eléctrico convencional (VENTICELL), un sistema de circulación forzada de aire, con rangos de temperatura desde los $10 \text{ }^\circ\text{C}$ sobre temperatura ambiente hasta los $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Así mismo, para el proceso de elaboración, utilizaron una mandolina para el corte del producto a un grosor de 3 milímetros, en seguida, sumergieron la malanga con el método de pretratado de acidificación con solución de ácido cítrico. Lo deshidrataron en el dicho horno convencional con temperatura constante de $62 \text{ }^\circ\text{C}$, con un tiempo de secado de 24 horas. Señalaron que obtuvieron la malanga deshidratada de buena calidad con los parámetros sensoriales favorables.

Se obtuvo resultados favorables en la séptima prueba que se realizó con malanga, lo cual la duración del deshidratado fue en 3 horas. Con una radiación que alcanzó los $981.1 \frac{W}{m^2}$, así mismo, su temperatura sobrepasó los $65 \text{ }^\circ\text{C}$, generando un buen calor dentro de la cámara de secado deshidratando el producto, que anteriormente se pretrató con el método de ácido orgánico (jugo de limón), con rebanadas de tamaño de 1 milímetro de grosor. De igual manera, el peso y la humedad disminuyó notablemente, con un porcentaje de 76.92% de humedad inicial a 17.75% de humedad final. Considerablemente el producto de deshidrató de buena calidad.

Además de eso, en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (Martínez, et al., 2018) realizaron pruebas de deshidratado de malanga en un secador solar indirecto. El pretratamiento fue con el método de ácido orgánico (solución de jugo de limón), con un grosor en las rodajas de 5 milímetros. La radiación solar sobrepasó los $800 \frac{W}{m^2}$. Por ende, la temperatura estuvo rodeando los 30 a $46 \text{ }^\circ\text{C}$. Respectivamente, la humedad se redujo de 62% como humedad inicial

a 41% como humedad final. El tiempo de deshidratado fue de 6 horas y media, obteniendo un producto de buena calidad.

CAPÍTULO V: Conclusión

Las pruebas de secado se llevaron a cabo en 8 diferentes días en los meses de enero y febrero del año 2020 y en marzo del 2021. Se analizó los secadores solares que están hechos en el IIIER de la UNICACH, se optó por un secador solar tipo armario ya que cuenta con una cámara de secado y un colector solar inclinado, unidos entre sí en la parte inferior de la cámara y se le adaptó tres bandejas de secado removibles y protegidas por una puerta colocada en la pared trasera de la cámara y en la parte superior cuenta con un cristal donde se puede observar los cambios físicos del producto durante el secado sin necesidad de abrir la cámara.

Se concluyó que este tipo de secador solar tipo armario con visor de cristal superior es muy eficiente para el deshidratado de alimentos ya que puede utilizarse de forma directa al descubrir el visor de la cámara y en forma indirecta al cubrir el visor de vidrio y solo usar el calor del colector.

En las pruebas de secado se realizó diferentes métodos de pretratamiento más conveniente para los tubérculos y conservar el estado del producto. Por otro lado, se cortaron en rodajas de distintas maneras (con mandolina, chuchillos y peladores) y con diferentes grosores para analizar una deshidratación homogénea y uniforme en la cámara de secado, haciendo pruebas en secador solar directo e indirecto.

De acuerdo al segundo objetivo, se concluyó que, el pretratamiento del método de acidificación y con el método de tratamiento de ácidos orgánicos son eficaz y de una mejor calidad de secado en el producto, ya que, se conserva mejor sus características (color, sabor y olor), así mismo, dichos métodos se pueden emplear en los hogares, por ejemplo, con el método de acidificación no es tan complicado al hacer diluir 5 gramos de polvo de ácido cítrico en un litro de agua y sumergir las rodajas durante 10 minutos o bien, hacer el pretratado con jugo de limón. Por el contrario, con el pretratamiento de blanqueado/escaldado de jugo de limón se obtuvo no tan buenos resultados, con un mayor trabajo y desgaste al usar leña en las estufas ecológicas para meter las rodajas al escaldado, también un mayor tiempo en la deshidratación de 10 horas y visualizando un color muy oxidante sobre el producto con un grosor de 3 milímetros, es mejor usar un rebañador comercial a usar cuchillos, así obtener un grosor de las rebanadas homogéneas.

Se analizó las diferentes técnicas de los cortes de las rodajas y el pretratamiento del producto; se determinó una disminución de tiempo de deshidratación. El método de la aplicación de pretratamiento acidificación y de ácido orgánico, ayuda a tener un resultado similar en los

secadores (directo e indirecto), se concluyó que en ambos secadores solares se puede realizar bien el deshidratado de papa y malanga sin tantas variaciones, siempre y cuando estén al pendiente de cómo va el proceso (ayuda la ventanilla de vidrio para la observación sin abrir la cámara de secado), de igual manera, se puede colocar un extractor de aire en la salida de la cámara de secado, para acelerar la ganancia de calor latente del producto.

En el tercer objetivo del análisis, la curva de secado se obtuvo que el incremento máximo de la radiación solar se perciba en aquellos días completamente soleados, donde se observó un aumento de temperatura dentro de la cámara de secado llegando y sobrepasando los 90 °C. Sin embargo, en los días con nubosidad alta, se obtuvo una disminución en la insolación, disminuyendo así la temperatura ambiente hasta 26 °C y dentro de la cámara de secado se llegó hasta 40 °C. Se obtuvo los promedios de temperaturas, el peso inicial y final de cada muestra, el porcentaje del producto a base húmedo y a base seco, y finalmente el tiempo de secado en cada prueba:

Pruebas con papa:

T= 48.96 °C, con una muestra de 13 a 1 g (92% a 7.1% de humedad) en 10 horas.

T= 48 °C, con una muestra de 6 a 1 g (83.33% a 13.88% de humedad) en 7 horas.

T= 57.63 °C, con una muestra de 7 a 1 g (85.71% a 12.24% de humedad) en 4 horas.

T= 65.25 °C, con una muestra de 8 a 1 g (87.5% a 10.24% de humedad) en 3 horas.

Pruebas con malanga:

T= 54.11 °C, con una muestra de 13 a 2 g (784.61% a 13.01% de humedad) en 3 horas y 30 minutos.

T= 61.88 °C, con una muestra de 13 a 3 g (76.92% a 17.75% de humedad) en 3 horas.

T= 77.22 °C, con una muestra de 16 a 2 g (87% a 10.93%) con una duración de 4 horas.

Es necesario tener en cuenta que en todas las partes del secador solar debe estar totalmente aislado, sin ninguna fuga con el fin de que la temperatura y el calor sea totalmente aprovechada, por esa razón se decidió hacer mediciones cada 30 minutos para tener menores pérdidas de calor y obtener mejores resultados de secado.

En el cuarto objetivo, sobre el mejoramiento de secado, se obtuvo notablemente que el tamaño de los cortes en rodajas es un punto importante para el peso del producto y la reducción del

tiempo en cada prueba, usando una mandolina con grosor de 1, 2 y 3 milímetros, donde resultó mejor con el grosor de 2 milímetros, puesto que su tiempo de deshidratado es menor; al igual que el grosor de 1 milímetro y sin disminuir la cantidad del tubérculo a deshidratar. El grosor de 3 milímetros llega a tardar hasta 10 horas en deshidratarse. Por el contrario, con un grosor de 1 y 2 milímetros, se redujo hasta el 50 a 70% de tiempo.

Se analizó el quinto objetivo, en donde se concluyó que se obtuvo buenos resultados del producto deshidratado con forme a los parámetros sensoriales de olor, color y sabor, lo cual, se aptó para hacer harina, ya que se observó que el producto está en buenas condiciones y sin ningún color de oxidación y para el consumo directamente como fritura es recomendable hacer más delgadas las rodajas ya que las rodajas más gruesas dejan un sabor fuerte del almidón que contiene estos productos.

El producto deshidratado y/o en harina se puede conservar de 3 a 4 meses y es factible distribuirla a más hogares del estado de Chiapas, así mismo, conservar y promover el consumo y cultivos de papa y la malanga.

Los resultados que dejó satisfacción, se pueden emplear a las necesidades alimenticias y que es hecho de una manera más sustentable al usar la energía térmica del sol.

Referencias

- Acosta, S. (2018, Enero). Energías renovables. *Revista Euroná*. Recuperado de <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/energias-renovables/Que-son-las-energias-renovables.asp#>
- Almada, C. (2005). *Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. Asunción, Paraguay: UNESCO.
- Arranz, J. (2005). Herramienta de simulación de procesos aplicados al secador solar de biomasa. *Proyecto. Universidad de Extremadura*. (09), 78-83.
- Ayensu, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar convective heat flow. *Solar energy* (59), 121-126.
- Balladin, D., Chang Yen, I., McGaw, D., y Headley, O. (1996). Solar drying of west indian ginger rhizome using a wire basket dryer. *Renewable energy*. (7), 409-418.
- Bellevue, A. (1975). A survey of solar agricultural dryers. *Brace research institute technical report*. (43), 136-145.
- Bérriz, L. (1993). *Secadores solares para productos agropecuarios e industriales*. Centro de Investigación de Energía Solar. La Habana, Cuba.
- Blanco, C. (2009, Octubre, 10). El sol nuestra estrella. *Revista UNAM*. Recuperado de Revista.unam.mx/vol.10/num.10/art67/art67.pdf
- Blanco, J. (2002). *Desarrollo de colectores solares CPC para aplicaciones fotoquímicas de degradación de contaminantes persistentes en agua* (Tesis doctoral). Plataforma Solar de Almería.
- Camayo, B., Quispe, M., Huamán, A., Condezo, D., Hernández, J. y Landa, L. (2020). Instalación y evaluación del secador solar autónomo para el sacado de papa en tarma. *Ciencias agrícolas*, 11(6), 1221-1231.
- Caputo, F., Scacchi., y Pelagagge, P. (2003). Disposal of by-products in olive oil industry: waste to energy solutions. *Applied thermal engineering*. (23), 197-214.
- Ceballos, E., y Jiménez, M. (2012). *Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano*. Cholula, Puebla.

- Corvalan, R., Horn, M., Roman, R., y Saravia, L. (1995). *Ingeniería del secado solar*. Editorial CYTED-D.
- Croos, F. (2015). Transferencia de calor. *Enciclopedia Britanica* [versión electrónica]. Estados Unidos. Enciclopedia Britanica Inc. <https://www.britannica.com/science/heat-transfer>
- De Michelis, A., y Ohaco, E. (1997). *Deshidratación y secado de frutas, hortalizas y hongos*. Argentina: INTA EDICIONES.
- De La Torre, J., y Portilla, M. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de secador solar para el capsicum annum (Ají) con colector-almacenador en lecho de rocas con una capacidad de 25 kg* (tesis para ingeniero). Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Sangolquí, Ecuador.
- Dickey, N. (2018). Energías Renovables. *Acciona*. Recuperado de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>
- Mascheroni, R., y Roca, P. (2011). *Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente*. Buenos Aires, Argentina: CIDCA.
- Duffie, J., y Beckman, A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. Madrid. 2da Edición.
- Duran, G., Albesa, F., Buonfiglio, G., y Goldner, M. (2018). *Ensayos de secado en laboratorio de papa andina y papa criolla. Obtención experimental de coeficientes de secado*. Argentina: ASADES.
- Egolf, P., Frei, B., y Fuster, R. (2000). Thermodynamics of moist air: contribution to error estimates. *Applied thermal engineering*. (20), 1-19.
- Ekechukwu, O. (1999). Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy conversion and management*. (40), 593-613.
- Fito, P., Grau, A., Barat, M., y Albors, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia. Editorial de la UPV.
- Giner, S., y Gely, M. (2005). Sorptional parameters of sunflower seeds of use in drying and storage stability studies. *Biosystems engineering*. (92), 217-227.
- Gudiño, D. (2000). *Estudio comparativo de varios secadores solares tipo charola en el proceso de secado de jamaica*. Ed. ISES Forum.

- Heraldo21. (2009). *La papa, el aporte para el mundo*. Recuperado de <http://heraldo21.blogspot.com/2009/05/la-papa-resumen.html>.
- Hernández, V., Olvera, O., Guzmán, P. y Morillón, D. (2017). Secado de frutas y verduras con energía solar. *Sistemas experimentales*, 4(11), 22-33.
- Kneule, F. (1982). *El secado*. Bilbao. S.A Ediciones.
- Leyva, L. (2019, 10 de noviembre). Malanga (Taro). *Malanga tuberculos*. Recuperado de <https://www.tuberculos.org/taro-malanga/>
- Leyva, L. (2019, 10 de noviembre). Papa o patata. *Patata tuberculos*. Recuperado de <https://www.tuberculos.org/papa-patata/>
- Liang, T., Khan, M., y Meng, Q. (1996). Spatial and temporal effects in drying biomass for energy. *Biomass and Bioenergy*. (10), 353-360.
- López, A., Díaz, C., y Vela. (2019). *Procesamiento y conservación de cormos de malanga*. Naucalpan de Juárez, México: Colección Montebello, UNICACH.
- Martínez, G., Ramírez, E., Rojas, L., Córdova, Y., Gonzales, M. y Pérez, G. (2018). Secado en capa delgada del taro (colocasia esculenta) en secador solar a diferentes velocidades. *Registro ISSN*, 2(1), 77-92.
- Méndez, E. (2017). *Diseño, construcción y caracterización de prototipo de deshidratador solar para productos agrícolas* (tesis maestría). Universidad de el Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. San Salvador.
- Monreal, L. (2001). *Importancia de la papa (Solanum Tubersum L.) en la región de navidad, Nuevo Leon* (tesis para ingeniero). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Saltillo, Coahuila.
- Montero, I. (2005). *Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos* (tesis doctoral). Universidad de Extremadura, Escuela de Ingenierías Industriales, Badajoz, España.
- Montero, I., Miranda, M., Celma, A., y Rojas, S. (2005). *Programación para el calculo numerico de propiedades psicométricas*. Logroño. La rioja.
- Munjumbar, A. (2000). *Drying technology in agricultura and food sciences*. USA. Editorial Publeshes.

- Neculhueque, M., y Paulí, V. (2004). *Manual para el uso del secadero solar de alimentos*. Argentina: C.R.E.E.
- Negi, P., y Roy, S. (2001). Effect of drying conditions on quality of green leaves during long term storage. *Food reeach international*. (34), 283-287.
- Schallenberg, C. (Ed). (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias, España. Editorial Feder.
- Sing, A., Singh, H., Singh, S., y Sawhney, R. (2002). Numerical calculation of psychrometric properties on a calculator. *Building and environment*. (37), 415-419.
- Suazo, E. (2006). Deshidratador solar y secado de alimentos. *Cocina con el sol*. Recuperado de <https://gastronomiasolar.com/deshidratador-solar-secado-alimentos/>.
- Tiwari, G. (2002). *Solar energy. Fundamentals, desing, modelling and aplicaciones*. New Delhi, India. Editorial Alpha Science International Ltd.
- Togrul, I., y Pehlivan, D. (2004). Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of food engineering*. (65), 413-425.
- Tubérculos (2013). *Taro o Malanga*, Recuperado de <https://www.tuberculos.org/taro-malanga/>.
- Tunde-Akintunde, T., Afolabi, T., y Akintunde, B. (2005). Influence of drying methods on drying of bell-pepper (capsicum annum). *Journal of food engineering*. (68), 439-442.
- Vidal, A., Velázquez, O., Iñaki, R., y Ortega, G. (2012). *Diseño y construcción de un secador solar portátil*. Academia Journals, Vol. 4. (Vidal, Velázquez, Iñaki, Ortega. 2012).
- Whealtley, C., Scoot, J., Best, R., y Wiersema, S. (1997). Harina de yuca para consumo humano. *CGSpace*. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/81930>.

CAPÍTULO VI: Anexos

Cronograma De Actividades

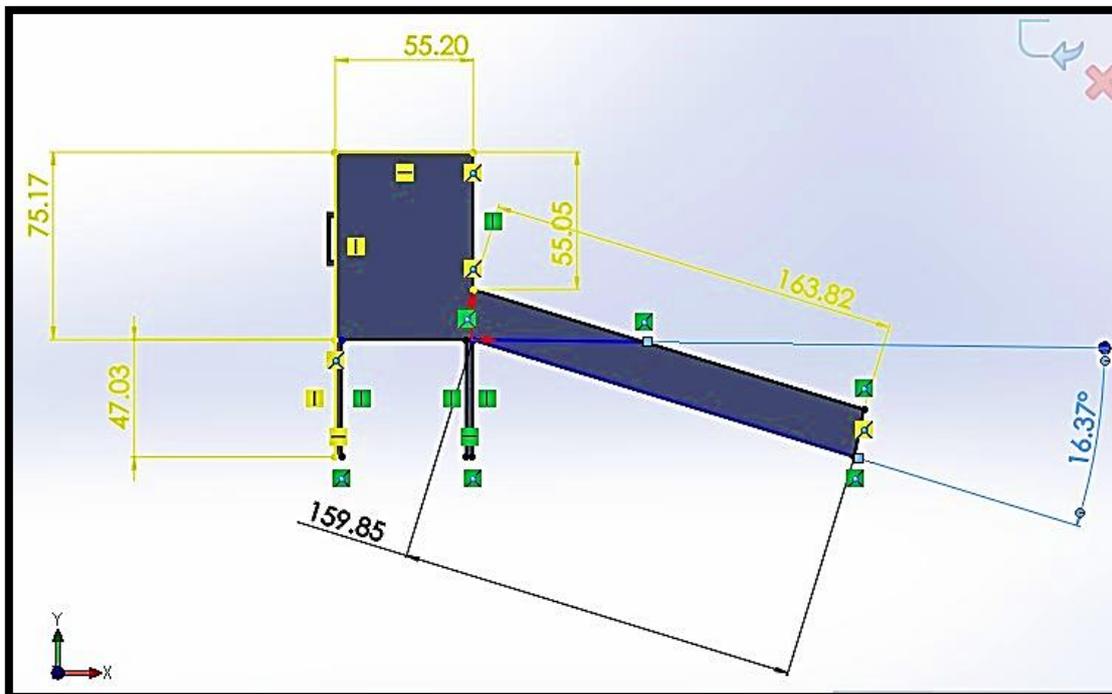
Fecha	Actividad	Tiempo	Observaciones
<i>17 de enero del 2020</i>	Medición de radiación y temperaturas en el secador solar indirecto.	7 horas	El comportamiento de temperaturas dentro de la cámara de secado.
<i>24 de enero del 2020</i>	Pretratado de papa; método de blanqueado/escaldado con jugo de limón, en las instalaciones del IIER.	1 hora y 30 minutos	Mayor trabajo en sumergir las rodajas en un recipiente con agua hirviendo, para luego sacarlas y reposarlas en jugo de limón.
	Deshidratado de papa en el secador solar indirecto.	10 horas	Hubo problemas, ya que visualmente mostraba oxidación en el producto. Con mucho tiempo en deshidratarse, con un grosor de la papa de 3 milímetros.
<i>31 de enero del 2020</i>	Pretratado de papa; método de blanqueado/escaldado con jugo de limón, en las instalaciones del IIER.	1 hora y 15 minutos	Reducción de tiempo en el pretratamiento.
	Deshidratado de papa en secador solar indirecto.	7 horas	Reducción del tiempo de secado, con variante en los cortes de rodajas a 2 milímetros. Nuevamente presentó oxidación en el producto.
<i>7 de febrero del 2020</i>	Pretratado de papa; método de acidificación en el LIDPF.	1 hora	Los cortes en rodajas del producto fueron más homogéneos.
	Deshidratado de papa en secador solar indirecto.	4 horas	El deshidratado fue en menor tiempo, y el producto se visualizó en

			buena calidad por el pretratado.
<i>14 de febrero del 2020</i>	Pretratado de papa; método de acidificación en el LIDPF.	1 hora	Las rodajas del producto fueron homogéneas.
	Deshidratado de papa en secador solar directo.	3 horas y 30 minutos	Reducción del tiempo de secado, gracias a sus altas temperaturas redujo rápidamente la humedad y el peso de la papa, así mismo, no presentó ninguna oxidación en el producto, ya que el deshidratado fue de manera directa.
<i>18 de marzo del 2021</i>	Pretratado de malanga; método de acidificación en el LIDPF.	1 hora	Buenos cortes en el producto de 1 milímetro y buen tiempo de reposo del producto en el ácido cítrico.
	Deshidratado de malanga en secador solar directo.	3 horas y 30 minutos	Excelente tiempo en deshidratar y sin presentar oxidación visualmente ni un mal sabor en el producto, apto para ser consumido.
<i>22 de marzo del 2021</i>	Pretratado de malanga; método de ácido orgánico en las instalaciones del IIER.	1 hora	El grosor del producto fue en cortes de 1 milímetro.
	Deshidratado de malanga en secador solar indirecto.	3 horas y 30 minutos	No se registró ninguna oxidación en el producto, nuevamente el tiempo de secado fue rápido, se presentó alta radiación solar, así mismo, la temperatura fue elevándose.
	Pretratado de malanga; método de ácido orgánico	1 hora	Nuevamente el grosor del producto fue de 1

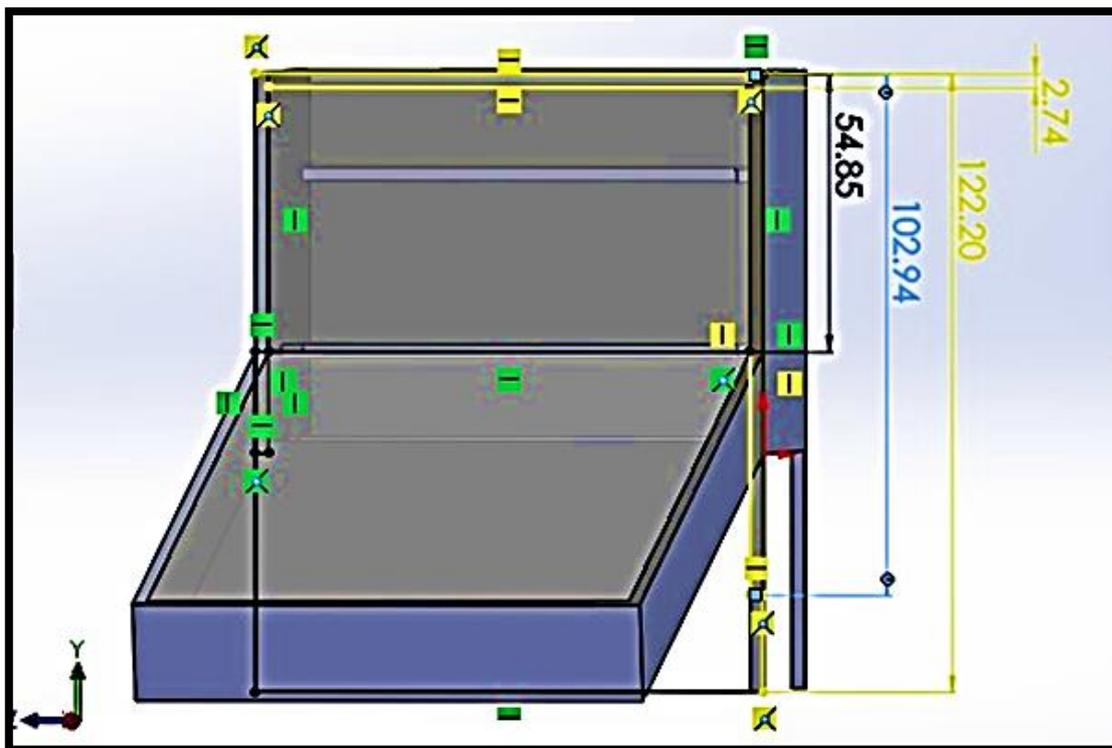
	en las instalaciones del IIER.		milímetro, para ser consumido como tipo fritura.
<i>23 de marzo del 2021</i>	Deshidratado de malanga en secador solar directo.	3 horas y 30 minutos	La radiación solar fue casi constante rebasando los $800 \frac{W}{m^2}$, de igual forma, la temperatura sobrepasó los 80 °C para que el producto se haya deshidratado correctamente. La malanga, no presentó ningún error sensorial (color, olor y sabor).

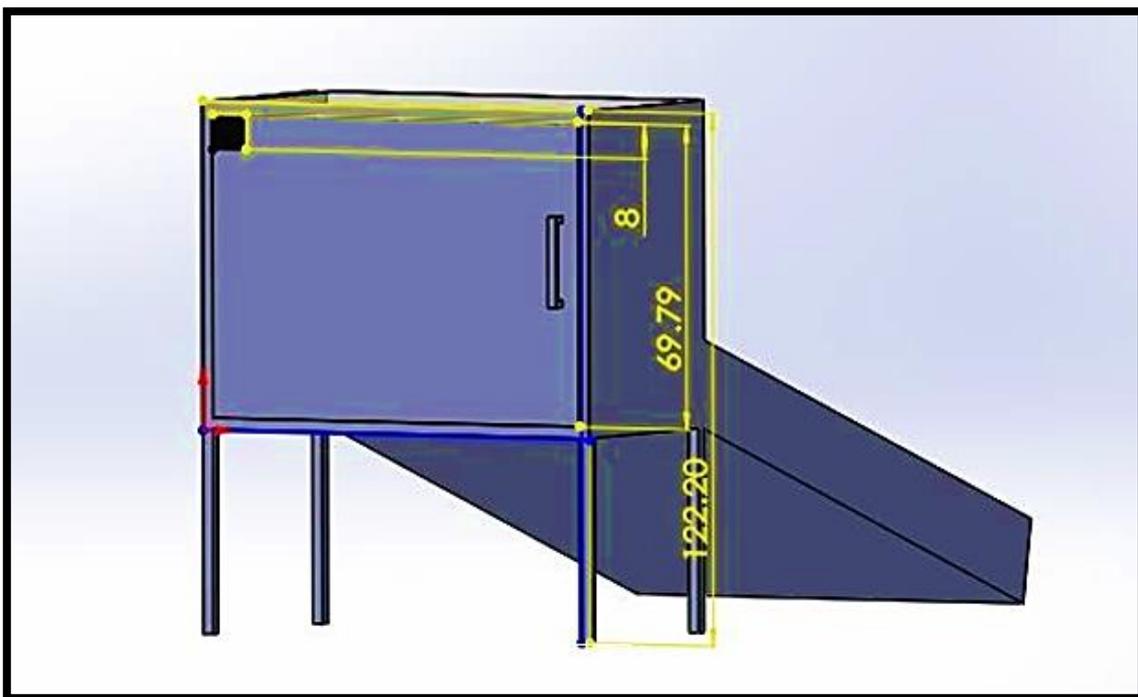
Evidencia Fotográfica

Medidas del secador solar

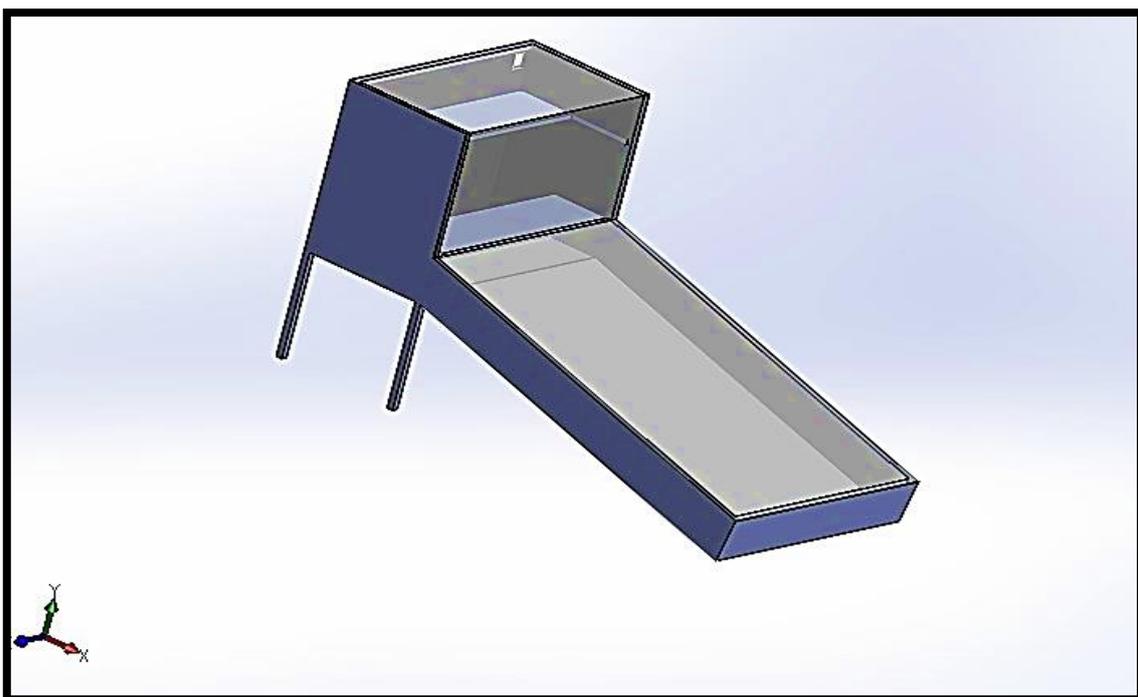


Parte lateral y frontal del secador solar





Parte anterior y superior del secador solar



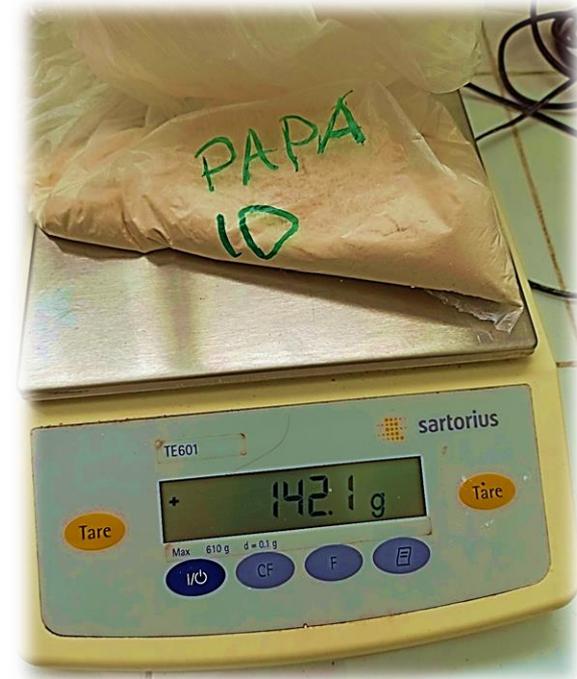
Tamizadoras (montinox) con malla número 6.0



Licadora para triturar el producto deshidratado



Elaboración de harina





Malanga deshidratada



Queso tipo cheddar

Malanga tipo fritura con queso cheddar



Elaboración de cupcakes con harina de malanga



Ingredientes para la elaboración de cupcakes

Harina de malanga y de trigo.



Revolviendo el chocolate con ambas harinas



Llenando los moldes



Cupcakes hechos de harina de malanga y de trigo