

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE MATRICES
VEGETALES AUTÓCTONAS O DE INTERÉS COMERCIAL EN COLOMBIA
MEDIANTE SECADO SOLAR INDIRECTO**

PRESENTADO POR

SERGIO ANDRES CASTIBLANCO PADILLA 93240

BRAYAN ALEXANDER MOLINA TARQUINO 94312

JHONATAN GONZALEZ SALGADO 95322

DIRECTORES:

PhD. ANDRES DURAN JIMENEZ

UNIVERSIDAD ECCI

DIRECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TECNOLOGIA EN GESTION DE PROCESOS INDUSTRIALES

BOGOTA D.C.

2023

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE MATRICES
VEGETALES AUTÓCTONAS O DE INTERÉS COMERCIAL EN COLOMBIA
MEDIANTE SECADO SOLAR INDIRECTO**

ESTUDIANTES

SERGIO ANDRES CASTIBLANCO PADILLA 93240

BRAYAN ALEXANDER MOLINA TARQUINO 94312

JHONATAN GONZALEZ SALGADO 95322

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Tecnología en gestión de procesos industriales

Directores:

PhD. ANDRES DURAN JIMENEZ

Línea de investigación: Gestión de procesos industriales

-

Universidad ECCI

Facultad de ingeniería industrial

Bogotá D.C., Colombia

2023

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos muy profundamente a nuestro tutor Andrés Duran Jiménez PhD por su dedicación y paciencia, por guiarnos en este proceso y disponer de cada espacio para sus indicaciones, a los directores del semillero TGPI por permitirnos hacer parte de esta investigación y a la Universidad ECCI por permitirnos disponer de cada espacio para poder mejorar nuestra investigación.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los educadores y expertos en ingeniería, en particular a nuestro tutor, el Dr. Andrés Durán Jiménez, por su valiosa contribución a nuestro proceso educativo. También queremos reconocer a nuestros compañeros de carrera, quienes nos brindaron apoyo cuando más lo necesitábamos y nos inculcaron la importancia del trabajo en equipo. Nos sentimos honrados y orgullosos de haber crecido como profesionales junto a ellos. Además, queremos mostrar nuestro agradecimiento a la Universidad ECCI por proporcionarnos el espacio y las instalaciones necesarias para hacer realidad este sueño.

Agradecemos a los docentes que nos acompañaron y aconsejaron en los procesos para crear el semillero, en especial a nuestro tutor Andrés Duran Jiménez PhD, el mayor participante del proyecto excepto nosotros, y también agradecemos a las directivas del semillero TGPI, que nos dieron apoyo incondicional para avanzar y culminar el proyecto. Por último, a la universidad ECCI por brindarnos los diferentes espacios y herramientas las cuales facilitaron el desarrollo del semillero de investigación.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo quiero dedicar con mucho amor y cariño primeramente a Dios, ya que sin Él no hubiese sido posible llevarlo a cabo, por lo que, me siento muy agradecido por todo lo que me ha dado, por permitirme llegar a donde estoy y, teniendo plena seguridad de que las cosas han salido bien gracias a su ayuda; así como a la Doctora María Luisa Piraquive por ser una inspiración constante en mi vida mediante su ejemplo, sus valores y sus constantes y/o permanentes enseñanzas que ha impartido.

También agradezco a mi padre Samir González y madre Nilce Salgado que han sido un apoyo constante en todo lo que en mi vida he emprendido, ya que, siempre han estado dándome su apoyo y aliento; al igual, a mis hermanos Erik González que me acompañó y estuvo muy pendiente de todo, a Brayan Molina y Sergio Castiblanco por su disposición para trabajar, pues hemos estado unidos como un gran equipo.

Al igual, extendo esta dedicatoria a mi tutor Andrés Duran, por su paciencia para enseñarnos y guiarnos en este proceso de investigación, y a todos aquellos conocidos que me dieron aliento en todos los momentos de mi vida y de mi formación intelectual.

Jhonatan González Salgado

Quiero expresar mi gratitud a mi familia, en especial a mis padres, por su apoyo inquebrantable a lo largo de este trabajo. Agradecimientos profundos por estar a mi lado en los momentos difíciles y en los no tan difíciles. Su influencia ha sido fundamental para forjarme como la persona que soy hoy, inculcándome mis valores, mi perseverancia y mi dedicación, siempre acompañadas de un amor incondicional y sin esperar nada a cambio.

Asimismo, deseo extender mi más sincero agradecimiento a mi tutor, cuya dedicación y paciencia fueron indispensables para alcanzar esta meta tan anhelada. Sus palabras sabias y correcciones precisas fueron cruciales para mi éxito. Gracias por guiarme y brindarme valiosos consejos a lo largo de este proceso.

Brayan Alexander Molina Tarquino

Le dedico este proyecto y los resultados obtenidos a mi familia la cual es un motor importante en mi vida, a Dios porque siempre que hay un obstáculo siempre le pedía

consejos y ayuda, no obstante, se lo dedico específicamente a mi madre Marbel Padilla Huertas la cual siempre tuvo la iniciativa de aconsejarme de nunca rendirme y me incito a seguir adelante, apoyando a mis compañeros y docente.

Quisiera extender mi dedicatoria al docente Andrés Duran Jiménez el cual siempre estuvo ahí constantemente dándonos su apoyo sus conocimientos y consejos de cómo podríamos mejorar, diría que sin la ayuda de él, el proyecto no sería lo que es ahora y no hubiera llegado tan lejos como lo ha hecho, por último agradezco también a mis compañeros Jhonatan Salgado y Brayan Molina los cuales siempre estuvieron pendientes del proyecto y siempre me apoyaron para poder culminar este semillero de investigación.

Sergio Andrés Castiblanco Padilla

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	6
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE GRÁFICAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	10
GLOSARIO.....	12
RESUMEN.....	15
1. INTRODUCCIÓN	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
4. OBJETIVOS	20
4.1. OBJETIVOS GENERAL.....	20
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	20
5. HIPÓTESIS	21
6. MARCO TEÓRICO.....	22
7. ESTADO DEL ARTE	33
8. DISEÑO METODOLÓGICO	40
9. RESULTADOS	43
10. CONCLUSIONES.....	85
ANEXOS	88
BIBLIOGRAFÍA.....	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas del secado solar.....	24
Tabla 2. Escala de preferencias.....	32
Tabla 3. Resultados de deshidratación de la manzana.	39
Tabla 4. Hortalizas preseleccionadas con características y producción.....	44
Tabla 5. Frutas preseleccionadas con características de producción	44
Tabla 6. Frutas preseleccionadas con características, producción y exportaciones.....	45
Tabla 7. Características físicoquímicas del tomate	47
Tabla 8. Parámetros generales del tomate.....	48
Tabla 9. Producción, exportación y consumo del tomate en Colombia.....	48
Tabla 10. Características físicoquímicas de la zanahoria.....	49
Tabla 11. Parámetros generales de la zanahoria	50
Tabla 12. Producción, exportación y consumo de la zanahoria en Colombia	50
Tabla 13. Características físicoquímicas del mango	52
Tabla 14. Parámetros generales del mango.....	52
Tabla 15. Producción, exportación y consumo del mango en Colombia.....	53
Tabla 16. Datos iniciales para la toma de decisión	57
Tabla 17. Matriz de comparación en pares	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18. Cálculo de pesos por jerarquía AHP	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19. Cálculo de la razón de inconsistencia	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 20. Índice aleatorio CA	60
Tabla 21. Matriz por jerarquía AHP para el tiempo de secado	61
Tabla 22. Matriz por jerarquía AHP para la producción. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 23. Matriz por jerarquía AHP para la relación humedad/estructura	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 24. Matriz por jerarquía AHP para las pérdidas.... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 25. Resultados finales y ponderación global..... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 26. Matriz de evaluación de alternativas de diseño para el deshidratador... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 27. Valores para aplicar fórmula de balance de energía	80
Tabla 28. Temperatura promedio en Bogotá.....	81
Tabla 29. Temperaturas promedio en el sistema de deshidratación solar.....	82
Tabla 30. Tasa de producción del deshidratador.....	84

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución de pérdida y desperdicio por eslabón de la cadena alimentaria	31
Gráfica 2. Área cosechada y producción del tomate.....	46
Gráfica 3. Área cosechada y producción de la zanahoria	46
Gráfica 4. Área cosechada y producción de la zanahoria	51
Gráfica 5. Comportamiento de la pérdida de peso de los productos durante el proceso de secado por convección forzada para el tomate, la zanahoria y el mango	67
Gráfica 6. Relación de humedad para el tomate, zanahoria y mango a una temperatura de $328.15\text{ K} \pm 278.15\text{ K}$ (Primera prueba en laboratorio)	68
Gráfica 7. Relación de humedad para el tomate, zanahoria y mango a una temperatura de $323.15\text{ K} \pm 278.15\text{ K}$ (Segunda prueba en laboratorio)	69
Gráfica 8. Evolución temporal de la temperatura en Bogotá durante 2023	69
Gráfica 9. Evolución temporal de la radiación solar en Bogotá durante 2023	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de radiación solar global en Colombia	26
Figura 2. Las regiones del espectro electromagnético, destacando el espectro óptico que incluye las regiones visible y ultravioleta	27
Figura 3. PIB agrícola	27
Figura 4. Área sembrada, área cosechada y producción total de verduras, hortalizas, legumbres y hortalizas en el año 2019	28
Figura 5. Área sembrada, área en edad productiva y producción total de cultivos frutales en el año 2019	30
Figura 6. Curva de secado del tomate	34
Figura 7. Diseño de equipo de deshidratación solar	35
Figura 8. Deshidratador solar indirecto para frutas construido en la localidad de Puenbo-Quito	36
Figura 9. Vista pictórica del secador solar (a) y diagrama esquemático del sistema de secado solar (b)	37
Figura 10. Pruebas de deshidratación de manzana	39
Figura 11. Diseño metodológico del objetivo 1	41
Figura 12. Diseño metodológico del objetivo 2	41
Figura 13. Diseño metodológico del objetivo 3	42
Figura 14. Diseño metodológico del objetivo 4	42
Figura 15. Diseño metodológico del objetivo 5	43
Figura 16. Morfología del tomate	54
Figura 17. Secciones transversales del pericarpio de frutos de tomate de tipo silvestre	54
Figura 18. Anatomía de la raíz de la zanahoria: (a) vista longitudinal y (b) vista en cortes transversal y longitudinal	55
Figura 19. Fruto de mango y sus partes	56
Figura 20. <i>Atlas Interactivo - Radiación IDEAM</i>	71
Figura 21. <i>Planos del deshidratador</i>	76

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolos	Significado
K	Kelvin
°Bx	Grados Brix
PH	Medida del grado de acidez
Kcal	Kilocalorías
Ton	Toneladas
W	Vatios
cm	centímetros
m	micrómetro
<i>μm</i>	miligramos
mg	miligramos
Q	Calor específico
m	Densidad del aire
Cp	Capacidad calorífica del aire
Te	Temperatura promedio de Bogotá
Ts	Temperatura promedio en la cámara

Abreviaturas	Significado
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible

UE	Unión Europea
DNP	Departamento Nacional de Planeación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
ONU	Organización de las Naciones Unidas
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
EVA	Evaluaciones Agropecuarias Municipales
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
FAOSTAT	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
AHP	Proceso analítico jerárquico

GLOSARIO

Deshidratación: “Extracción del agua que contiene una sustancia, un organismo o un tejido orgánico.”

Oxford Languages and Google - Spanish. (2020, mayo 20).

Deshidratación de frutas: “La deshidratación consiste en la extracción de la humedad del alimento con el fin de prevenir el crecimiento y la reproducción de los microorganismos.”

Oxford Languages and Google - Spanish. (2020, mayo 20).

Autóctono: “Que ha nacido o se ha originado en el mismo lugar donde se encuentra.”

Oxford Languages and Google - Spanish. (2019, junio 1).

Humedad: “Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.”

Oxford Languages and Google - Spanish. (2010, abril 5).

Humedad relativa: “Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.”

Oxford Languages and Google - Spanish. (2020, abril 30).

Organolépticas: “Que puede ser percibido por los órganos de los sentidos.”

Rae.es. 2 de junio de 2021)

Colector solar: “Es para la energía solar térmica para la producción de calor lo que el módulo solar es para el sistema fotovoltaico para la producción de electricidad.”

Vaillant.es.es (3 de mayo del 2018)

Generación de energía eléctrica: “Es un conjunto de procesos distintos a través de los cuales se puede producir electricidad.”

Generación Eléctrica - (14 de junio de 2020).

Energía convencional: “Combustibles de origen fósil, tales como petróleo, carbón, gas natural y sus derivados, para los cuales existen mecanismos de exploración, conversión y distribución a gran escala. “

(Weiss & Buchinger, 2005)

Sistema híbrido: “Un sistema de energía que no depende de una sola fuente de energía, por ejemplo, eólica-diésel, fotovoltaica-diésel, eólica-fotovoltaica-diésel, etc. “

(Weiss & Buchinger, 2005)

Radiación: “Transferencia de energía a través del espacio abierto en forma de ondas electromagnéticas como la luz.”

(Weiss & Buchinger, 2005)

Colector solar: “Sistema que absorbe la radiación solar para calentar un medio.”

(Weiss & Buchinger, 2005)

PIB: “Sigla de producto interior bruto, conjunto de los bienes y servicios producidos en un país durante un espacio de tiempo, generalmente un año.”

Oxford Languages and Google - Spanish. (2017, julio 30).

Línea ecuatorial: “Línea imaginaria que sirve para dividir nuestro planeta en dos: el hemisferio norte y el hemisferio sur.”

De Sá Tavares, D. (2016, mayo 18).

Temperatura: “Puede definirse como la condición de un cuerpo que determina la transferencia de calor hacia o desde otros cuerpos; es una medida del potencial térmico de un cuerpo.”

(Weiss & Buchinger, 2005)

Descomposición: “El ablandamiento, debilitamiento o descomposición total de la sustancia producida por los hongos.”

(Weiss & Buchinger, 2005)

Efecto termosifón. “Es un fenómeno de convección natural que le da a un fluido la posibilidad de circular dentro de un circuito cerrado sin ninguna fuente de bomba externa.”

Triana-Rincón, J. M., Amaya-Hurtado, D., & Ramos-Sandoval, O. L. (2019).

Oxidación: “Fenómeno químico en virtud del cual se transforma un cuerpo o un compuesto por la acción de un oxidante, que hace que en dicho cuerpo o compuesto aumente la cantidad de oxígeno y disminuye el número de electrones de alguno de los átomos.”

Oxford Languages and Google - Spanish. (2019, agosto 20).

Efecto invernadero: “Subida de la temperatura de la atmósfera que se produce como resultado de la concentración en la atmósfera de gases, principalmente dióxido de carbono.”

(Weiss & Buchinger, 2005)

RESUMEN

La deshidratación de matrices vegetales ha sido fundamental en la conservación y comercialización de alimentos. A pesar de la escasa utilización de métodos de secado mediante energía solar térmica a nivel nacional, este enfoque se destaca por su rentabilidad al aprovechar una fuente renovable de energía gratuita. Sin embargo, el secado solar enfrenta limitaciones, como cambios climáticos e infestaciones por insectos.

Este trabajo presenta el planteamiento y desarrollo del diseño de un sistema de deshidratador solar por convección natural de tipo indirecto, específicamente diseñado para el secado de matrices vegetales. El sistema incluye un colector solar inclinado a 30° para absorber la energía solar en horarios específicos del día, compuesto por una cubierta de vidrio y una lámina alveolar que transforma la irradiación en aire caliente. El aire caliente se canaliza hacia una cámara de secado que contiene tres bandejas para reducir el contenido de agua de las matrices a secar. La ciudad de Bogotá se utilizó como referencia para calcular los requerimientos energéticos del proceso de secado.

Se analizó el proceso de deshidratación solar de frutas y hortalizas, utilizando un sistema de deshidratación solar mixto en la ciudad de Bogotá, específicamente con tres productos seleccionados: zanahoria (*Daucus carota* subsp. *sativus*), mango (*Mangifera* *índica*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Se aplicaron diferentes análisis, como la curva de secado, curva de humedad base seca y curva de velocidad del secado, utilizando una estufa de secado y calentamiento con convección forzada.

Los resultados muestran que el mango, sometido al proceso de deshidratación por convección directa, obtuvo mejores resultados en comparación con los frutos de zanahoria y tomate. Por ejemplo, la humedad base seca del mango se redujo del 435,05% al 17,27%, y la relación de pérdida de humedad aumentó del 3,25% a 4,18%. Los análisis microbiológicos estimaron la duración de los productos en 106, 109 y 174 días respectivamente para tomate, mango y zanahoria. Además, la evaluación sensorial demostró que el mango presentaba mejores atributos, como aspecto y color, con un estadístico R² indicando un 64,47% de variabilidad en DM PL y un coeficiente de correlación de 0,9893, lo que indica una relación moderadamente fuerte entre las variables evaluadas.

En resumen, este trabajo describe un sistema de deshidratador solar por convección natural de tipo indirecto aplicado al secado de matrices vegetales y presenta un análisis comparativo del proceso de deshidratación solar de frutas y hortalizas, destacando el mango como el producto con mejores resultados en términos de conservación y atributos sensoriales. Estos hallazgos pueden contribuir al desarrollo de métodos más eficientes y sostenibles para la conservación y comercialización de alimentos en la ciudad de Bogotá y otras regiones con características similares.

Palabras claves

Matrices vegetales, Irradiación solar, Convección natural, Deshidratador, Secador mixto, Cinética de secado, Convección forzada, Humedad base seca, Humedad libre, Eficiencia energética

1. INTRODUCCIÓN

El sector de frutas y verduras desempeña un papel crucial en la economía de numerosos países en todo el mundo. A medida que la población mundial continúa aumentando y crece el interés por una alimentación más saludable, el consumo de alimentos frescos también se expande. Esto plantea la necesidad de desarrollar métodos de conservación respetuosos con el medio ambiente que permitan prolongar la vida útil de estos productos durante "El almacenamiento y la distribución de frutas y verduras presentan un desafío debido a su alto contenido de humedad y la variabilidad en su manejo y conservación, lo que los hace propensos a daños que resultan en pérdidas y desperdicios a lo largo de la cadena de suministro. de alimentos, como lo señala la FAO La deshidratación se ha convertido en un método efectivo para prolongar la vida útil de estos productos, ya que implica la eliminación del exceso de humedad, lo que aumenta la disponibilidad de frutas y verduras para los consumidores, independientemente de las fluctuaciones estacionales en su oferta (FAO, 2014).

Se busca una solución a la disminución de pérdidas postcosecha de matrices vegetales en Colombia. por medio de la aplicación de un sistema de deshidratación solar, logrando obtener un producto deshidratado en menor tiempo y evitando el uso de fuentes de energías no renovables en el proceso comparados a otros sistemas de secado tradicional (osmótica, liofilización, conducción y por gases calientes) y de mejor calidad, del mismo modo se disminuirán los niveles de contaminación del producto en la producción, postcosecha y el traslado de los alimento de esa forma, prevenir y reducir las pérdidas postcosecha. (Moreno, j. 1988)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia es un país que cuenta con una gran producción de frutas y verduras, siendo estos alimentos de consumo necesario para la vida diaria, sin embargo, sabemos que cada

cosecha de estos trae consigo unas pérdidas postcosecha y son números elevados en cuanto a este. Según el estudio de Gaviria y colaboradores realizado en 2016, se observa que una parte significativa de los alimentos se pierde en diferentes etapas de la cadena de suministro. Por ejemplo, aproximadamente el 40,5 % (equivalente a 3,95 millones de toneladas) se desperdicia durante la actividad agrícola, mientras que un 19,8 % (alrededor de 1,93 millones de toneladas) se pierde en la fase de postcosecha y almacenamiento. Asimismo, se registra una pérdida del 3,5% (equivalente a 342.000 toneladas) durante los procesos de transformación industrial.

Si hablamos de los factores que mayormente afectan estas pérdidas postcosecha podríamos hablar del riesgo microbiológico porque la humedad que contienen estas es altas y esto es aprovechado por todas estas bacterias que buscan refugiarse allí, el riesgo mecánico al que están expuestas las matrices en el momento del transporte.

Un informe reciente de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), publicado en 2022 por Velásquez, indica que aproximadamente el 23% de las frutas y hortalizas se pierden debido a factores como deterioro microbiológico y fisiológico, Pérdida de humedad, daños mecánicos durante la recolección, envasado y transporte, además de condiciones inapropiadas en la manipulación y transporte. Es importante mencionar que estas cifras pueden variar según el tipo de fruta u hortaliza, ya que su fisiología es diversa, lo que hace que algunas sean más susceptibles que otras a sufrir pérdidas. Esto depende del tipo de fruta u hortaliza que se transporte, ya que su fisiología es diferente, y también de los cambios climáticos que pueden alterar las condiciones en las que se encuentran las materias primas.

Por otra parte, la radiación solar con la que cuenta Colombia es abundante a causa de la cercanía que se tiene a la línea ecuatorial, por lo tanto, es un valioso recurso que no se está aprovechando y del que se dispone todo el año. Basado en información del IDEAM Colombia, gracias a su ubicación geográfica privilegiada, cuenta con una abundante disponibilidad de energía solar. Las áreas que experimentan una mayor exposición a la radiación solar global, superando los 4,5 kWh/m² por día, incluyen las Islas de San Andrés y Providencia, extensas regiones del Caribe, Vichada, Arauca, Casanare, Meta, así como el norte, sur y este de Antioquia, el centro y norte de Boyacá, el oeste de

Cundinamarca y el este y centro de Tolima, además puede alcanzar hasta los 5,5 kWh/m² en las partes más cálidas del país.

El secado es uno de los métodos de conservación más antiguos usados por el hombre, pero cabe resaltar que sus costos son elevados además es un proceso que no suele usar energías renovables lo cual es perjudicial para el medio ambiente “Sin embargo, la liofilización siempre se ha considerado una técnica costosa, cuyo uso en la industria alimentaria se limita a matrices alimentarias difíciles de secar y/o caracterizadas por un alto valor comercial.”(Dordoni, 2013), esto tomando el caso de la liofilización que es un método muy utilizado por la industria ya que permite secar masivamente

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto tiene como objetivo encontrar una solución para reducir las pérdidas postcosecha de matrices vegetales en Colombia. Esto se logrará a través de la implementación de un sistema de deshidratación solar, aprovechando las ventajas de este enfoque, tales como la reducción en el uso de energías no renovables y el aprovechamiento de la radiación solar como método de secado de alimentos. De esta manera, se introduce una fuente de energía renovable que hasta ahora ha sido poco utilizada en el país.

Además, de acuerdo con la afirmación de López en su estudio publicado en el año 2000, la humedad relativa emerge como el factor primordial que incide en la transpiración. Esto se debe a que, cuando la cantidad de vapor de agua, expresada en forma de porcentaje, es inferior al contenido de humedad presente en el producto, este experimenta procesos de deshidratación y degradación

Sabiendo que muchos factores varían a favor o en contra de la deshidratación solar, podemos determinar que este tipo de sistema de deshidratación puede ser rentable en Colombia por la gran variedad de matrices vegetales que se adecuan a los parámetros necesarios para la implementación de la deshidratación solar, la factibilidad de la implementación, puesto que es un sistema con un menor tamaño comparado a otros sistemas de deshidratación y por consiguiente los costos en comparación a otros sistemas será menor.

Debido a que estas matrices no necesitan deshidratarse demasiado, nos permite obtener mayor cantidad de productos en menos tiempo y el producto sabemos que será menos propenso a dañarse o a sufrir cualquier tipo de problema, “Se recomienda almacenar frutas y hortalizas deshidratadas con un contenido final de humedad no mayor al 21%. El control de este parámetro es muy importante porque evita el ataque microbiano, (Delia Paola Urfalino & Andrés Quiroga, 2011)”, entonces la mayoría de los problemas generados en las matrices vegetales se debe a los grandes niveles de agua que estos contienen y como se menciona anteriormente este parámetro nos dará seguridad al momento de deshidratar la frutas o verduras.

Por otra parte, el proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), contribuyendo directamente al Objetivo 7, que promueve la Energía asequible y no contaminante. Este objetivo busca un aumento sustancial en el uso de energía renovable, según lo planteado por la ONU en 2018. Además, nuestra iniciativa también tiene un impacto directo en el Objetivo 12, que por la Producción y consumo responsables. Esto implica la reducción global del desperdicio de alimentos, tanto en la venta al por menor como en la cadena de producción y suministro, como establecido por la ONU en 2018.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVOS GENERAL

Desarrollar un sistema de deshidratación de matrices vegetales autóctonas y/o de interés comercial mediante secado convectivo a partir del aprovechamiento de la radiación solar como fuente energética.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Seleccionar las matrices vegetales potenciales para el sistema de secado solar con base en las características comerciales, fisicoquímicas y su factibilidad aplicando un método de jerarquización.
- Evaluar las matrices obtenidas de la jerarquización en cuanto a sus restricciones técnicas y comportamiento en condiciones similares al secado solar.

- Establecer los parámetros de diseño del sistema de deshidratación por secado convectivo a partir de la colección de radiación solar con base en las condiciones de operación geográficas.
- Desarrollar el diseño planteado para el sistema de deshidratación por secado convectivo a partir de radiación solar.
- Validar teóricamente las condiciones de operación y funcionamiento del sistema de deshidratación por secado convectivo a partir de radiación solar y su aplicación en el procesamiento de matrices vegetales.

5. HIPÓTESIS

Mediante el uso de un sistema de deshidratación solar se logra obtener un producto deshidratado en menor tiempo comparados a otros sistemas de secado tradicional y de mejor calidad, del mismo modo, se disminuirán los niveles de contaminación del producto en la producción, postcosecha y el traslado de los alimentos de esa forma prevenir y reducir las pérdidas postcosecha.

Utilizando el sistema de deshidratación solar por convección natural, conseguimos un producto con las mismas características organolépticas que otros sistemas de secado, al mismo tiempo que fomentamos el uso de energías limpias mediante la radiación solar.

La implementación de un sistema de deshidratación solar indirecto permite alcanzar una deshidratación eficiente y de alta calidad en un tiempo muy similar en comparación con los métodos de secado convencionales.

Por lo tanto, se sostiene que el uso de un sistema de deshidratación solar ofrece una serie de ventajas en términos de eficiencia, calidad del producto, reducción de la contaminación y promoción de energías limpias en comparación con los métodos de secado tradicionales. La investigación y experimentación podrían ser necesarias para respaldar o refutar estas afirmaciones.

6. MARCO TEÓRICO

Deshidratación de matrices vegetales.

La deshidratación de alimentos representa uno de los métodos más ampliamente utilizados en la industria para preservar productos agropecuarios, sin que ello implique la pérdida de sus cualidades organolépticas y nutricionales inherentes. Este proceso de secado de alimentos involucra la extracción de una parte de su contenido de agua hasta alcanzar un nivel que permita su consumo o almacenamiento a temperatura ambiente, como se explicó en el estudio de Carrasco, Ayala, Álvarez y Miranda en 2020.

Algunos métodos empleados para realizar el secado son:

a) El proceso de secado natural varía según el tipo de producto y puede llevarse a cabo en diferentes lugares, como superficies de concreto, áreas con ladrillos o en una instalación de secado.

b) El secado artificial implica el uso de secadores mecánicos que emplean la circulación de aire caliente, impulsado por ventiladores, para deshidratar el producto deseado. La fuente de calor para calentar el aire puede ser generada a través de la combustión de madera, la quema de combustibles fósiles o incluso mediante electricidad.

Debido a la crisis energética y al aumento en los precios de los combustibles, los gastos relacionados con el proceso de secado convencional, como el secado mecánico, han experimentado un incremento significativo. Esto ha generado la necesidad de explorar otras metodologías para llevar a cabo el secado. En América Latina, se ha adoptado un enfoque de secado que combina el secado mecánico con el secado natural, especialmente para el secado de granos. Este enfoque implica la utilización conjunta de la energía solar capturada y la convección del aire generada por ventiladores, lo que permite aprovechar tanto la radiación solar como la circulación forzada de aire. (Costa & Ferreira, 2007).

Sistema de deshidratación solar

Es una alternativa efectiva para el proceso de secado de alimentos. Consiste en exponer los productos al aire libre para que se sequen de forma natural con la ayuda del sol. La desecación es un método de conservación de alimentos que tiene una larga historia, ya que la eliminación del contenido de agua de los tejidos y células resulta muy eficaz para prevenir la descomposición y la pérdida de los alimentos. Este método se considera uno de los más antiguos en términos de conservación de alimentos, y las primeras comunidades agrícolas ya lo utilizaban para preservar legumbres y cereales. El proceso de secado puede aplicarse a una variedad de alimentos, incluyendo vegetales, hortalizas y frutas.

Tipos de secadores solares.

- El primer tipo es un secador solar directo, que implica una cámara de secado en la que el producto se expone directamente a la radiación solar.
- El segundo es un secador solar mixto que combina una cámara de secado expuesta al sol con un colector solar plano.
- El tercero es un secador solar indirecto con una cámara de secado en la que el producto no se expone directamente a la radiación solar y también cuenta con un colector solar plano.

En general para el secado solar se tienen unas condiciones deseadas o ideales como lo señala Harrison & Andress (2000), por ejemplo, para secar al sol, lo mejor son los días cálidos, secos y con brisa. Se necesita una temperatura mínima de 353.15 K, siendo mejores las temperaturas más altas. Por lo tanto, los diseños de los deshidratadores se enfocan en preservar la temperatura dentro del mismo, aislamiento de las condiciones climáticas que están en el exterior, conservación del alimento que se seca, entre muchas otras.

Estas son algunas de las ventajas y desventajas mencionadas por López Suárez, P. (2023) que se pueden tener al momento de deshidratar frutas y vegetales.

Tabla 1.

Ventajas y desventajas del secado solar

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">● Prolonga su vida útil al eliminar la humedad que causa el crecimiento de microorganismos y la descomposición.● Conserva su valor nutricional al no perder proteínas, carbohidratos, grasas y lípidos, a diferencia de otros métodos de conservación.● Reduce su peso y volumen, lo que facilita su almacenamiento, transporte y distribución● No necesitan instalaciones especiales para su almacenamiento, haciéndolos accesibles y prácticos para hogares y empresas● Agrega valor al permitir su uso en diversas preparaciones culinarias, mejorando el sabor y la textura de las comidas● Reduce el desperdicio de alimentos al extender su vida útil más allá de su temporada de cosecha o disponibilidad.● Se mezclan fácilmente con otros comestibles y se usan como base para preparar una variedad de platos.	<ul style="list-style-type: none">● Puede llevar a la pérdida de vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C, que son sensibles al calor y al proceso de deshidratación. Esto puede afectar la calidad nutricional de los alimentos, ya que la vitamina C es esencial para el sistema inmunológico, la absorción de hierro y el bienestar general.● Puede llevar a la pérdida de sus características organolépticas, como olor, color, sabor y textura originales, lo que podría hacer que los alimentos deshidratados sean menos atractivos y apetecibles en comparación con los frescos, afectando la experiencia de consumo y la satisfacción del paladar.

<ul style="list-style-type: none">• Son fáciles de preparar, lo que ahorra tiempo y es conveniente para personas con agendas ocupadas.	
--	--

Nota. López Suárez, P. (2023)

Radiación solar

La energía solar representa una destacada opción para satisfacer nuestras necesidades energéticas en la Tierra. Se prefiere en comparación con otras fuentes de energía debido a su abundancia, carácter inagotable, bajo impacto ambiental, capacidad de renovación y costo asequible. Actualmente, esta fuente de energía se utiliza mediante dispositivos como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, con el propósito de generar tanto energía eléctrica como térmica.

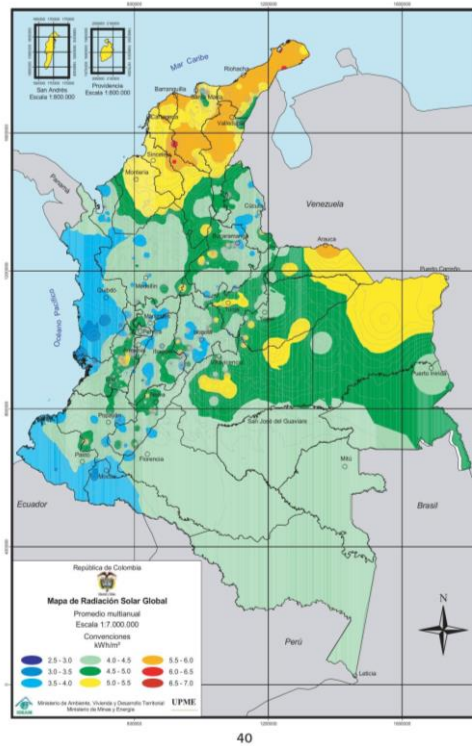
En el proceso de deshidratación solar, se aprovecha y almacena una fracción de la energía solar presente en la superficie terrestre, la cual se emplea posteriormente para transferir calor al sistema de deshidratación, incrementando la temperatura del aire utilizado en el procedimiento. Según Fontal (2005), la fuente de energía en la deshidratación solar se basa en la radiación electromagnética, que se compone de ondas generadas en el universo como resultado del movimiento de electrones en campos eléctricos. Este movimiento, a su vez, origina campos eléctricos y magnéticos que oscilan, dando lugar a haces de energía luminosa denominados fotones.

En Colombia, se observa un potencial prometedor de energía solar fotovoltaica en comparación con otras partes del mundo. A pesar de ciertas variaciones, los datos indican que en todo el país el promedio de irradiación solar es considerablemente alto. Es importante destacar que las regiones con mayor potencial en Colombia incluyen la Costa Atlántica, la Costa Pacífica, la Orinoquía y la Región Central. Además, la Región Pacífica, la Amazonía y el departamento de Nariño presentan niveles de insolación que resultan adecuados para la generación de energía, y esto puede aprovecharse de manera más eficiente mediante tecnologías de silicio amorfo en comparación con las celdas de

silicio mono o multicristalino, según señala Gómez Ramírez y su equipo en 2017.

Figura 1.

Mapa de radiación solar global en Colombia

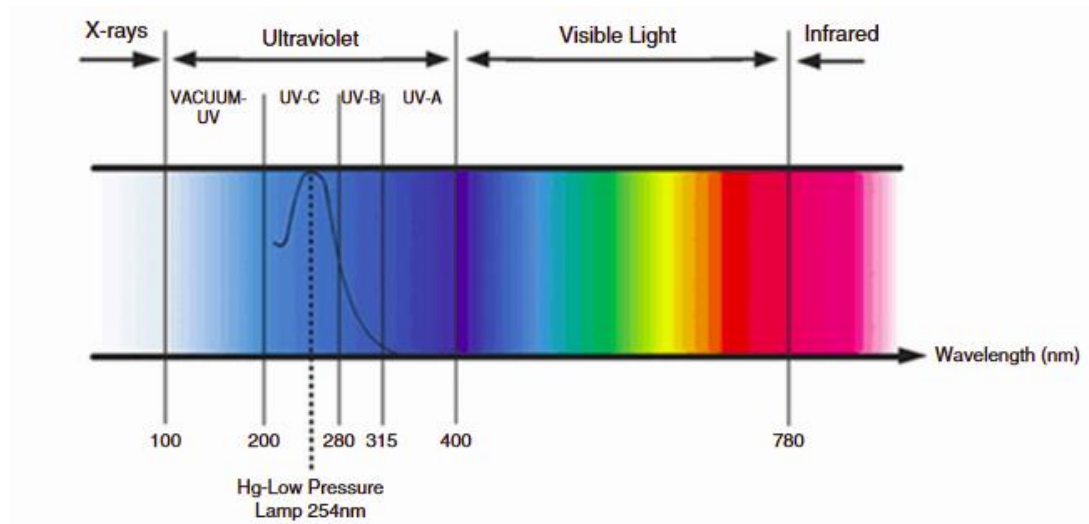


Nota. IDEAM - Instituto de Hidrología, M. Y. E. A. (2015). Atlas de Radiación Solar en Colombia—
Capítulo 2: Mapas de Radiación Solar. 25-40.

En el proceso de deshidratación solar, se captura y almacena una parte de la energía solar que se encuentra disponible en la superficie de la Tierra. Esta energía se emplea más tarde para calentar el sistema de deshidratación, lo que resulta en un aumento de la temperatura del aire utilizado en el proceso de secado. De acuerdo con lo descrito por Fontal (2005), la fuente de energía en la deshidratación solar es la radiación electromagnética, la cual se compone de ondas que se generan en todo el Universo debido al movimiento de electrones en un campo eléctrico. Este movimiento, a su vez, produce campos eléctricos y magnéticos en oscilación que originan haces de energía luminosa conocidos como fotones.

Figura 2.

Las regiones del espectro electromagnético, destacando el espectro óptico que incluye las regiones visible y ultravioleta.



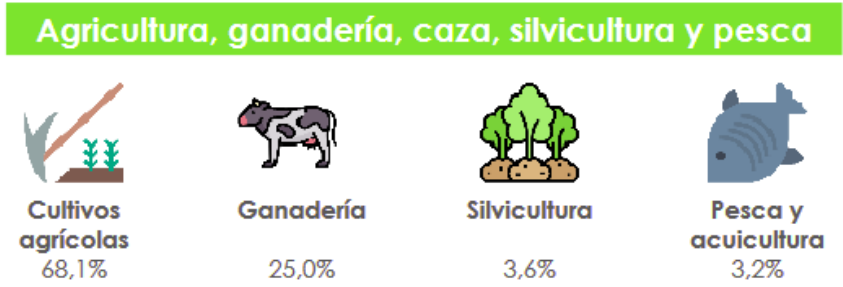
Nota: Zwinkels, J. (2020). Encyclopedia of Color Science and Technology.

Actualidad de las frutas y hortalizas en Colombia

Colombia es un país que cuenta con una gran variedad de frutas tropicales y exóticas, asimismo con abundante variedad de hortalizas beneficiado por sus condiciones topográficas y climáticas. Debido a su posición geográfica y condiciones climáticas favorables, Colombia se ha convertido en el principal exportador de frutas exóticas en América. Según Procolombia (2021), la FAO reconoce que Colombia tiene el potencial de ocupar un papel fundamental como uno de los proveedores principales de productos agrícolas a nivel mundial en los próximos años. Esta proyección se basa en que alrededor de la mitad de las tierras disponibles para la producción agrícola están en siete países tropicales, incluido Colombia. Además, las frutas de Colombia destacan por su excepcional calidad en términos de características sensoriales, como colores vibrantes, sabores intensos, aromas cautivadores, contenido soluble y valor de grados BRIX, superando a los productos de otras naciones en la región subtropical.

Figura 3.

PIB agrícola



Nota: Producto Interno Bruto por rama de actividad económica – Banco de la República.

Es importante mencionar que los cultivos agrícolas ocupan cerca del 70% del PIB agrícola, por lo que el sector hortofrutícola es protagonista en la economía colombiana.

Figura 4.

Área sembrada, área cosechada y producción total de verduras, hortalizas, legumbres y hortalizas en el año 2019.

Área sembrada, área cosechada y producción total de verduras, legumbres y hortalizas

Total nacional - 2019

	Área sembrada (hectáreas)	Área cosechada (hectáreas)	Producción (toneladas)
Total verduras, legumbres y hortalizas ¹	288.212	238.124	3.051.481
Frijol	109.847	86.719	117.133
Arveja	38.776	34.172	151.138
Hortalizas de fruto ²	28.145	20.623	365.327
Hortalizas de hoja ³	23.788	23.626	415.168
Cebolla rama	17.911	16.922	414.554
Cebolla bulbo	17.191	15.668	399.511
Zanahoria	12.644	10.200	257.023
Tomate	10.391	8.478	556.692
Hortalizas de raíz ⁴	4.419	3.241	98.207
Hortalizas de flor ⁵	4.152	3.444	59.291
Hortalizas de tallo ⁶	1.518	1.631	11.855
Otras verduras, legumbres y hortalizas ⁷	19.430	13.400	205.583

Notas:

1. Corresponde a la información de 32 departamentos, Cundinamarca incluye Bogotá.
2. En hortalizas de fruto se encuentran: berenjena, ahuyama, calabazas, odra, pepino, guiso, pepino, cohombro, pimentón, melón y sandía.
3. En hortalizas de hoja se encuentran: cilantro, aonjía, col, espinaca, lechuga, repollo, repolitas de Bruselas y perejil.
4. En hortalizas de raíz se encuentran: nabo, remolacha y rábano.
5. En hortalizas de flor se encuentran: brócoli y coliflor.
6. En hortalizas de tallo se encuentran: cebolla puerro y espárragos.
7. En otras verduras, legumbres y hortalizas se encuentran: habichuela, ajo, ají, apio, entre otros.



Fuente: DANE, Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)

Nota. DANE Colombia. (2021). Año internacional de las frutas y verduras

Como podemos observar en verduras, hortalizas y otras. La mayor producción es la del tomate con unas 560 mil toneladas, seguido de hortalizas de hoja, cebolla bulbo, hortalizas de fruto, zanahoria con 260 mil toneladas aproximadamente, siendo el tomate y la zanahoria las escogidas para deshidratar por su relación de humedad/estructura, su cantidad de producción es entre las principales y con muchas pérdidas.

Figura 5.

Área sembrada, área en edad productiva y producción total de cultivos frutales en el año 2019.

2021 - Año Internacional de las frutas y verduras
#DANELeCuenta

DANE
INFORMACIÓN PARA TODOS

Área sembrada, área en edad productiva y producción total de cultivos frutales
Total nacional - 2019

	Área plantada (hectáreas)	Área en edad productiva (hectáreas)	Producción (toneladas)
Total frutales*	505.164	377.958	6.712.167
Aguacate	108.819	63.534	535.021
Banano	111.250	105.609	2.914.419
Mango	51.616	35.720	344.386
Naranja	43.871	35.931	577.584
Limón	41.680	26.468	334.652
Mandarina	23.439	20.184	201.872
Guayaba	13.366	11.202	206.804
Maracuyá	11.082	8.891	171.474
Lulo	10.216	5.848	80.240
Mora	7.717	7.018	92.903
Uva fresca	4.094	3.993	67.632
Durazno	3.223	2.320	30.038
Fresa	2.810	1.888	53.730
Pitahaya	2.055	1.583	9.612
Pera	1.821	1.767	22.224
Uchuva	1.499	854	12.569
Feijoa	1.420	1.347	18.666
Manzana	720	613	5.053
Otros frutales*	64.467	43.189	1.033.288

Nota:
1. Corresponde a la información de 32 departamentos. Cundinamarca incluye Bogotá.
2. En otros frutales se incluyen arándanos, coco, longu, chirimoya, curuba, guayaba, guanábana, papaya, pitahaya, tomate de árbol, maracuyá, mora, etc.

Fuente: 2019. Dirección Nacional Agraria (DNA)

El futuro es de todos
Ministerio de Agricultura

Nota. DANE Colombia. (2021). Año internacional de las frutas y verduras

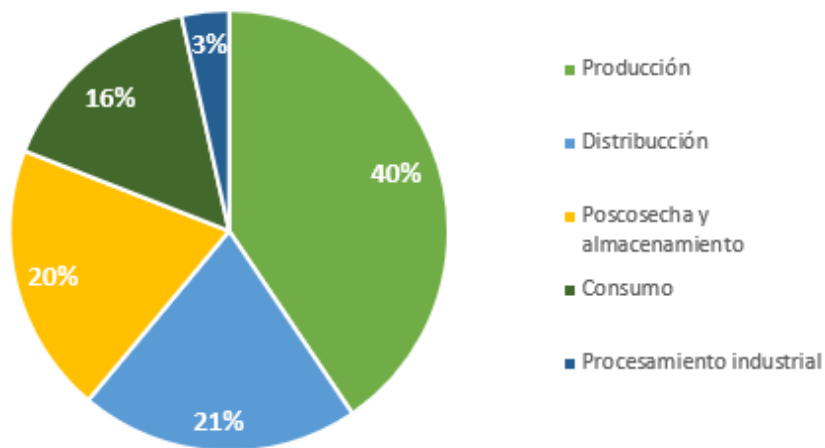
Como bien se mencionó anteriormente Colombia es un país con una alta y variada producción de frutas. El mango fue la matriz con mayor producción (2.914.419) superando ampliamente a otros frutales (1.033.288), seguido por el mango (344.386) y con una cifra similar está el limón (334.652), estos son las principales frutas producidas en el país. Se tomó la decisión de deshidratar el mango, puesto que cuenta con un alto número de producción, sus pérdidas son considerables y porque tiene una buena relación humedad/estructura.

Causas principales de las pérdidas de frutas y hortalizas en Colombia.

En Colombia, a pesar de contar con una oferta nacional de alimentos que alcanza los 28,5 millones de toneladas, se pierden y desperdician un total de 9,76 millones de toneladas, lo que equivale a aproximadamente el 34% del total. En otras palabras, por cada 3 toneladas de producción, se desperdicia una tonelada. De acuerdo con Gaviria y sus colaboradores (2016), del conjunto de alimentos perdidos y desaprovechados, el 64% se origina en las etapas de producción, postcosecha, almacenamiento y procesamiento industrial, mientras que el 36% restante se relaciona con el desperdicio generado en las etapas de distribución, venta al por menor y consumo en los hogares.

Gráfica 1.

Distribución de pérdida y desperdicio por eslabón de la cadena alimentaria



Nota. Simón Gaviria, Luis, S., Mejía, F., Fernando, M., Secretario, C., Gómez, A., David Martínez, J., & Puerta, N. (2016). Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia. www.dnp.gov.co

Teoría de la decisión

Para la toma de decisión multicriterio “El proceso implica que la persona encargada de tomar decisiones realice valoraciones subjetivas acerca de la importancia relativa de cada uno de los criterios y luego exprese sus preferencias con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio en particular. El resultado obtenido mediante el Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) es una jerarquización con prioridades que refleja la preferencia general para cada una de las alternativas de decisión.” (Toskano

Hurtado, 2005). Por lo que teniendo en cuenta estos criterios se opta por buscar la(s) matrices que más conviene deshidratar.

La toma de decisiones multicriterio implica que la persona encargada de tomar decisiones emite valoraciones subjetivas acerca de la importancia relativa de cada criterio y, a continuación, especifique sus preferencias en relación con cada una de las alternativas de decisión con respecto a cada criterio. Siguiendo lo mencionado por Toskano Hurtado (2005), el resultado obtenido a través del método AHP es una jerarquía.

Toma de decisiones por jerarquía AHP (The Analytic Hierarchy Process, 1980)

El método de análisis jerárquico fue desarrollado por Thomas L. Saaty y está diseñado específicamente para abordar problemas complejos que implican múltiples criterios. Este proceso implica que la persona encargada de tomar las decisiones aporte evaluaciones subjetivas en cuanto a la importancia de cada criterio, seguido por la especificación de sus preferencias para cada alternativa de decisión y cada criterio, como se señala en la cita de Toskano Hurtado (2005).

Como resultado final la jerarquización por AHP nos muestra una preferencia global con prioridades para cada una de las posibles alternativas de decisión.

Podríamos hablar de algunas ventajas del AHP frente a otros métodos de decisión multicriterio son:

- Tener un soporte matemático
- Permite desglosar y analizar un problema por partes
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.

Para llevar a cabo la toma de decisiones se debe tener en cuenta las prioridades respecto a cada alternativa, esto para poder hacer una síntesis que permitirá resumir la información y dar una jerarquización de prioridades a las alternativas.

Tabla 2.

Escala de preferencias

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente, preferible	1

Nota. (Toskano & Bruno, 2005)

7. ESTADO DEL ARTE

Análisis del comportamiento del tomate durante el proceso de secado solar

En el trabajo revisado se realizó un proyecto donde se estudiaron aspectos relacionados con la deshidratación de tomates, principales exportaciones e importaciones del mismo,

entre otras. Se llevaron a cabo experimentos para determinar la humedad del producto deshidratado, se construyó una curva de secado que muestra la humedad del alimento en base seca y se registró la velocidad de secado.

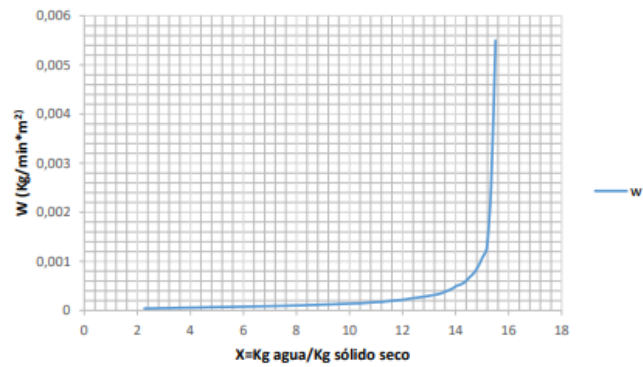
Además, se evaluaron las características fundamentales y la calidad microbiológica del tomate fresco y deshidratado mediante un análisis basado en cuatro parámetros: Determinación de Coliformes Totales, Determinación de Coliformes Fecales, Recuento de Aerobios Mesófilos y Recuento de Mohos y Levaduras. (G. Sanmartin Beleño y J. Buj Alcalá, 2017)

También, como mencionan G. Sanmartin Beleño y J. Buj Alcalá (2017), se analizaron las características fundamentales y microbiológicas tanto del tomate en su estado fresco como en su forma deshidratada, utilizando un análisis de calidad que se basó en cuatro indicadores específicos: la determinación de coliformes totales, la determinación de coliformes fecales, el recuento de bacterias aerobias mesófilas y el recuento de mohos y levaduras.

En la gráfica se presenta la curva de secado realizada por los autores del proyecto. Esta curva se generó a partir de un proceso de secado con las siguientes condiciones: se inició con una masa inicial de 505 g y se disminuyó hasta alcanzar 100 g, utilizando un área total de muestra de 310 cm². El proceso tuvo una duración de 405,23 minutos, equivalente a 6 horas y 45 minutos, y se llevó a cabo a una temperatura de entrada de 330.15 ± 275.15 , con una temperatura de salida de $328.15 \text{ K} \pm 275.15 \text{ K}$ (G. Sanmartin Beleño y J. Buj Alcalá, 2017)."

Figura 6.

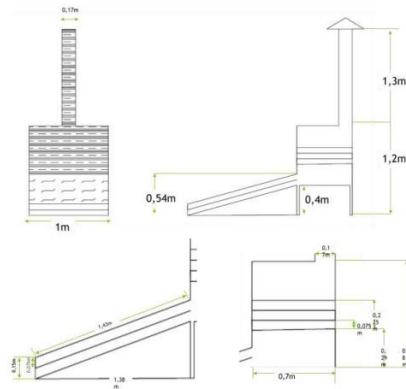
Curva de secado del tomate



Nota. G. Sanmartin Beleño y J. Buj Alcalá (2017)

Figura 7.

Diseño de equipo de deshidratación solar.



Nota. G. Sanmartin Beleño y J. Buj Alcalá (2017)

Análisis del comportamiento de la piña durante el proceso de secado solar

Los deshidratadores indirectos tienen una gran ventaja al cubrir los alimentos que se están secando, puesto que les ofrece una mayor seguridad. Tenemos un estudio reciente en donde vemos los resultados de la deshidratación en piña en la ciudad de Quito, Ecuador donde bien sabemos que cuentan con una muy buena fuente de irradiación solar.

El modelo utilizado mantiene una chimenea para permitir que el aire con alta humedad se escape. En este tipo de deshidratadores, es crucial disponer de una superficie amplia para el colector solar debido a la baja densidad de energía de la radiación solar. Tal como menciona Ayala Navas (2021), en el caso de un deshidratador solar indirecto pasivo, se agrega una chimenea para generar un efecto termosifón que facilita la salida del aire

húmedo de la cámara de secado; Mientras que, si se trata de un deshidratador solar indirecto activo, es necesario incorporar un ventilador o un soplador para impulsar un flujo de aire que mejore la circulación en todo el sistema.

Figura 8.

Deshidratador solar indirecto para frutas construido en la localidad de Puenbo-Quito



Fuente: Ayala Navas, P. D. (2021)

En otro estudio realizado en Ecuador nos mencionan Moyano Arévalo et al., (2021) que las condiciones para el secado sin llegar a afectar la fruta ni sus componentes y es que se calcula que la temperatura interna del deshidratador solar no debe exceder los 333.15 K para conservar las propiedades fisicoquímicas de las frutas a procesar.

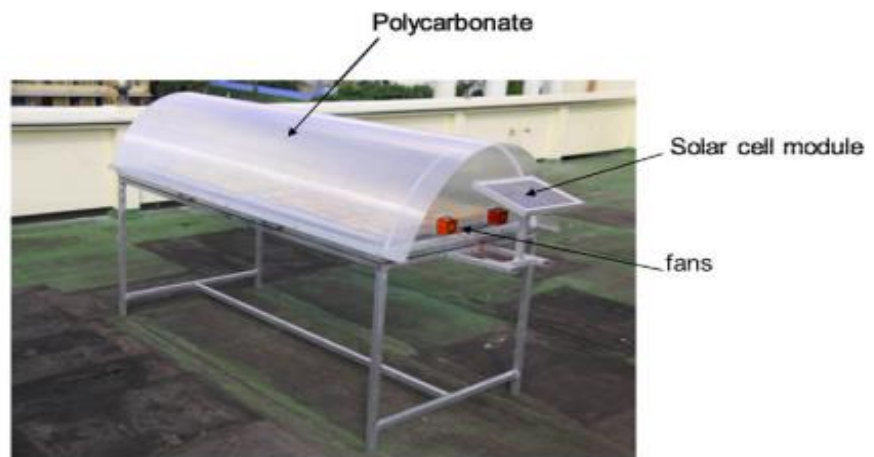
La deshidratación de estas matrices por convección natural como se realiza en el prototipo, genera un buen impacto al medio ambiente porque no se hace uso de alguna fuente de energía que vaya a funcionar con combustibles fósiles, además de ser más económico que los otros medios de secado, además Rodríguez Mercado, O. A. (2020) indica que la implementación de cabinas de deshidratación solar por convección es una herramienta que permite inspeccionar el proceso de secado de los alimentos, reduciendo de esa manera el riesgo de oxidación y contaminación hacia el medio ambiente, así mismo, el tiempo de secado es mucho menor que los medios habitualmente usados.

Análisis del comportamiento del banano durante el proceso de secado solar

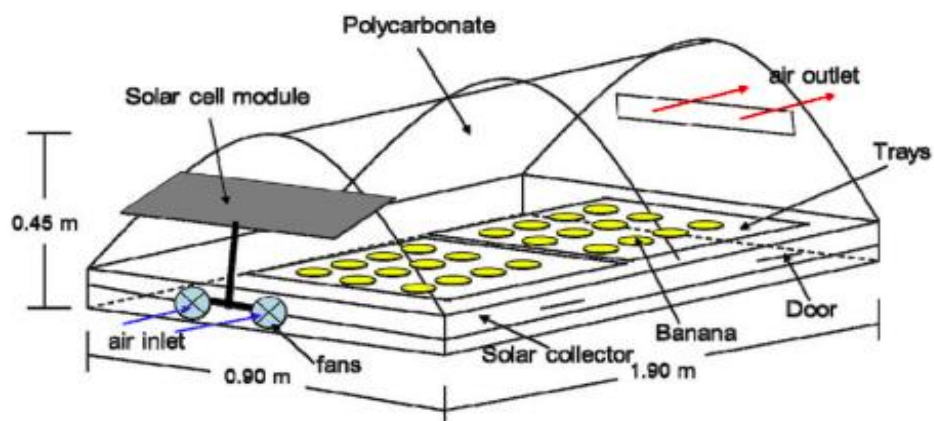
El banano es una fruta que cuenta con una humedad alta y conocemos que, debido a su acelerada respiración, se daña con muy poco tiempo después de llegar a su punto de maduración. En este caso el deshidratador busca aislar el polvo y a su vez deshidratar la fruta con un sistema similar al de un invernadero y con su respectiva salida de aire. “El secador solar se diseñó, construyó y probó en la División de Física de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Thepsatri Rajabhat, Lopburi, Tailandia. El diseño del secador solar se basó en el volumen necesario para 10 kg de plátano maduro. Consiste en una estructura de techo parabólico de láminas de policarbonato sobre una placa plana de colector solar. Se utiliza pintura negra como absorbente en el colector. Sobre la base de este volumen, la dimensión del secador es de 0,90 m de ancho \times 1,90 m de largo \times 0,45 m de alto, equipado con 2 bandejas de secado (0,70 m de ancho \times 0,80 m de largo) y estas bandejas montadas dentro del secador. Todos los lados del secador están cubiertos con láminas de policarbonato de 6 mm de grosor para crear el efecto invernadero dentro del secador.” (Nabnean & Nimnuan, 2020).

Figura 9.

Vista pictórica del secador solar (a) y diagrama esquemático del sistema de secado solar (b).



(a)



(b)

Fuente: (Nabnean & Nimnuan, 2020)

Análisis del comportamiento de la manzana durante el proceso de secado solar

Se realizaron pruebas de secado usando la capacidad máxima del secador, verificando las seguridades del sistema con las que cuenta el sistema, tiempo de deshidratación y control de temperatura. La temperatura inicial del secador fue de 286.15 K y se puso límite de 328.15 K con distintos intervalos de tiempo.

Conforme avanzaba el proceso de deshidratación de la fruta, se realizaron evaluaciones periódicas. En intervalos regulares, se retiraba la fruta, se pesaba y luego se reintroducía hasta alcanzar el nivel de humedad deseado. Inicialmente, se empleó una cantidad de 1000 gramos, y según los cálculos anteriores, se buscaba alcanzar una masa aproximada

de 186 gramos con un contenido de humedad del 14%. (Guamán Rocha, C. E., Zurita, T., & Edmundo, M., 2021).

Tabla 3.
Resultados de deshidratación de la manzana

Tiempo de deshidratación [h]	Temperatura [K]	Masa inicial [g]	Masa final [g]	Masa deshidratación [g]	% de Humedad
0	325.15	1000	1000	0	84
1	325.15	1000	740	260	71.59
2	325.15	740	533	207	54.23
3	325.15	533	378	155	35.24
4	325.15	378	284	95	25.23
5	325.15	284	218	65	17.76
6	325.15	218	177	42	14.8

Nota. (Rocha et al., 2021)

Con el objetivo de llegar a una masa cercana a los 186 gramos y una humedad del 14%, podemos observar que se logra un resultado favorable con una masa menor de 177 gramos y una humedad de 14,80%.

Figura 10.
Pruebas de deshidratación de manzana



Nota. (Rocha et al., 2021)

8. DISEÑO METODOLÓGICO

El modo en que vamos a realizar este proyecto será con un enfoque cuantitativo, que implica recolectar datos y usar números para probar nuestras ideas. Así, podremos entender mejor cómo se comportan las cosas y establecer pautas para seguir este enfoque.

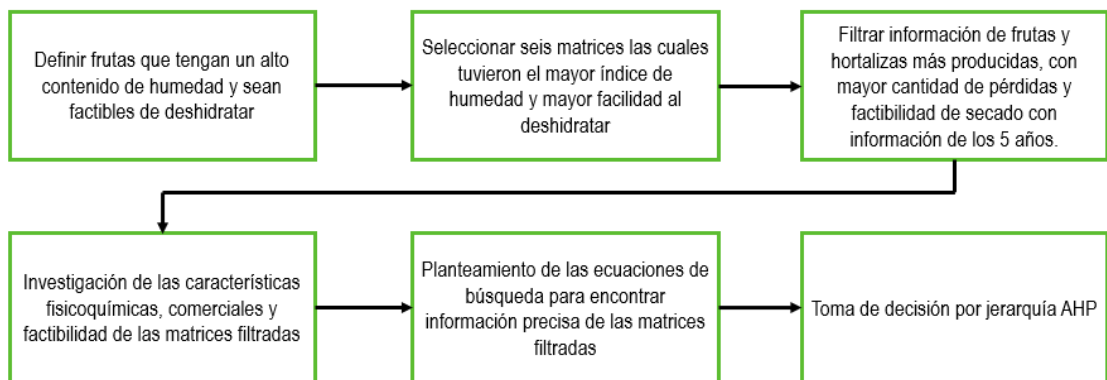
El proceso es secuencial y basado en pruebas. Cada etapa precede a la siguiente y no se pueden omitir pasos. El orden es estricto, aunque, por supuesto, tenemos la flexibilidad de redefinir alguna fase si es necesario. (Hernández Sampieri, 2014). En definitiva, es importante seguir cada etapa para obtener resultados fiables. Además, en base a las preguntas de investigación se establecen hipótesis, se define un plan para probarlas y se analizan con mediciones obtenidas usando métodos de la estadística.

En la primera etapa, se establece una metodología para determinar las matrices a utilizar en el diseño del deshidratador solar. El proceso de diseño del deshidratador solar seguirá la siguiente metodología, que se basa en los siguientes pasos:

Se iniciará con una revisión bibliográfica, empleando un conjunto de ecuaciones de búsqueda en bibliotecas y bases de datos, con el fin de localizar libros y artículos científicos que proporcionen una base sólida para este proyecto.

Figura 11.

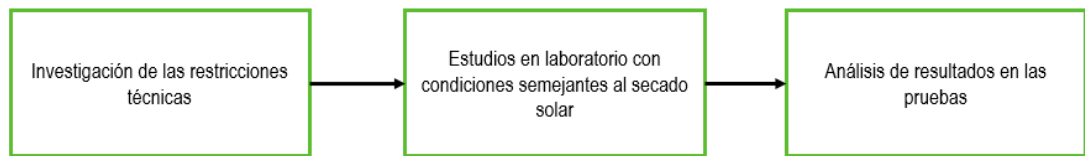
Diseño metodológico del objetivo 1



Nota. Autoría propia

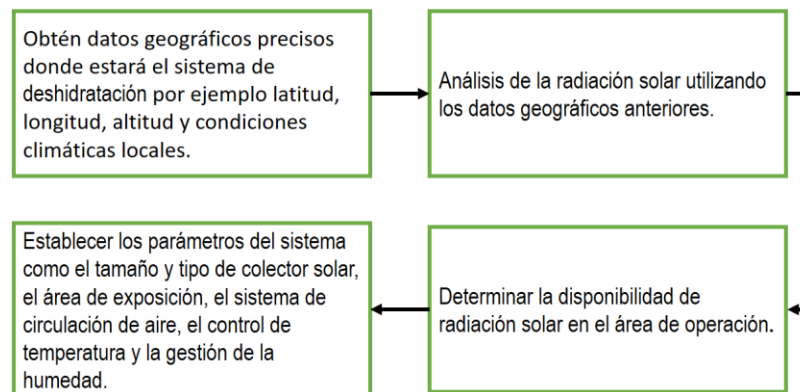
Figura 12.

Diseño metodológico del objetivo 2



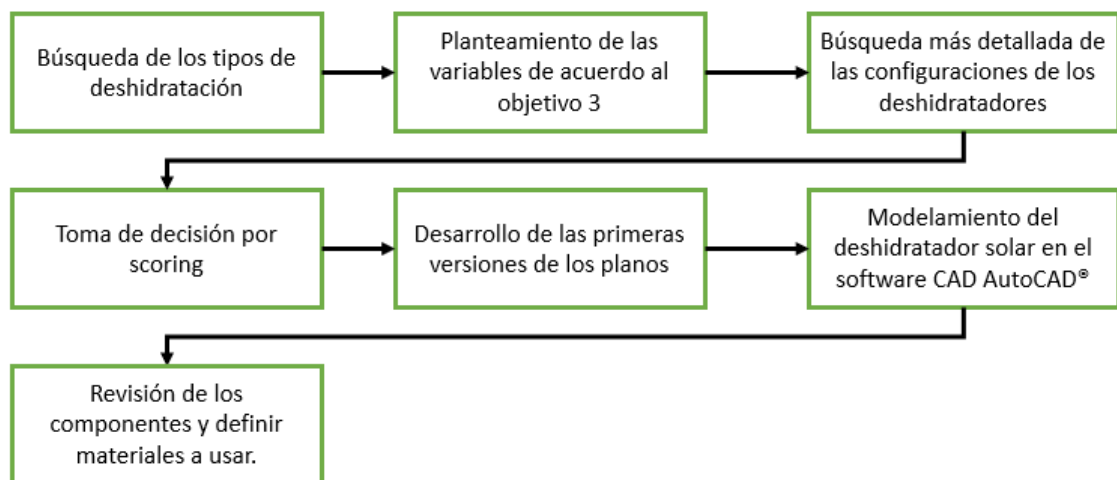
Nota. Autoría propia

Figura 13.
Diseño metodológico del objetivo 3



Nota. Autoría propia

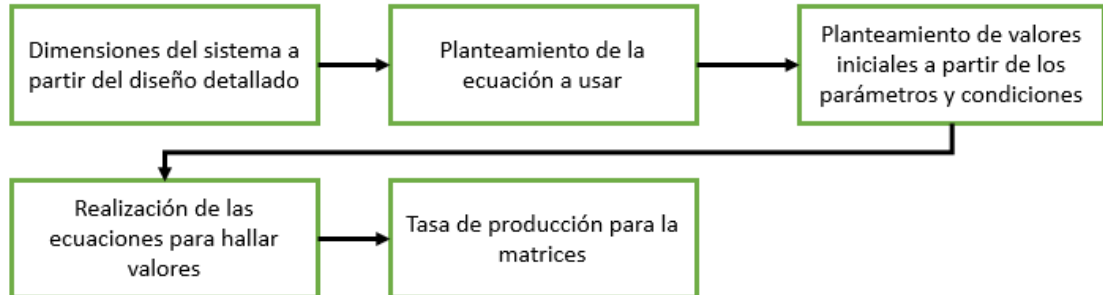
Figura 14.
Diseño metodológico del objetivo 4



Nota. Autoría propia

Figura 15.

Diseño metodológico del objetivo 5



9. RESULTADOS

1. Se realizó la comparación de diferentes matrices vegetales principalmente por su contenido de humedad, composición fisicoquímica, cantidad de producción, entre otros factores que nos ayudan a definir las matrices más favorables para el proyecto. Se encontraron frutas como el banano que es la principal fruta producida por Colombia, sin embargo, tiene una mayor dificultad para su secado comparado al mango. Por otro lado, las frutas y verduras con un alto contenido de vitamina C son vulnerables a la radiación solar, Por lo tanto, recomendamos que el proceso de secado se realice a temperaturas por debajo de 338.15 K para conservar niveles más elevados de vitamina C. Para el propósito de consumir la fruta como fuente de fibra, es posible llevar a cabo la deshidratación a temperaturas más elevadas. (Bécquer Frauberth et al., 2020). Para la comparación se descartaron matrices que no cumpliesen o que levemente cumpliesen los criterios anteriormente mencionados.

Como nos lo menciona MinAgricultura (2015) en 29 departamentos y más de 600 municipios se cultivan 37 tipos de hortalizas. Estos cultivos ocupan el 7,3% del área cosechada y producen el 22,1% de los cultivos transitorios. Además, generan más de 100,000 empleos directos y más de 200,000 empleos indirectos.

Tabla 4.

Hortalizas preseleccionadas con características y producción

Hortaliza	Producción(ton)	Humedad
Rábano	304,60	93,5
Guatila	613,00	96,7
Pepino cohombro	25.269,20	94,7
Zanahoria	271.001,46	94,3
Tomate	822.418,75	88,9

En los últimos cinco años, la producción de frutas frescas en Colombia ha experimentado un impresionante crecimiento del 20,6%. Este aumento significativo ha posicionado al país como un importante jugador en el mercado de frutas a nivel mundial.

Tabla 5.

Frutas preseleccionadas con características y producción

Fruta	Producción(ton)	Humedad
Curuba	13.774,00	90,10
Uchuva	13.832,75	82,10
Durazno	30.239,09	85,70
Lulo	77.611,53	89,20
Mango	365.461,95	81,20

De las tablas 12 y 13 se seleccionaron 6 posibles matrices a deshidratar, principalmente tenidas en cuenta por su producción porque al tener una mayor demanda que otras matrices abre la posibilidad de cubrir una cantidad de pérdidas mayor, su composición fisicoquímica y su estructura, pues al momento de realizar el secado dará una mayor facilidad en el proceso.

Tabla 6.

Frutas preseleccionadas con características, producción y exportaciones

Fruta	Humedad	Proteína	Lípidos	Carbohidratos totales	Producción(ton)	Exportaciones (kg)	Valor US
Uchuva	82,1	1,5	0,5	14,2	13832,75	7,872	\$ 37.820.445
Durazno	85,7	1	0,1	12,5	30239,09	6290	\$ 6.923
Lulo	89,2	0,9	0,1	8,9	77611,53	78000	\$ 207.725
Mango	81,2	0,6	0	17,1	365461,95	2506576	\$ 14.048
Tomate	94,3	0,9	0,1	4,1	822418,75	551470	\$ 549.377
Zanahoria	88,9	0,7	0,1	9,5	271001,46	22240	\$ 12.683

Teniendo en cuenta la asociación de los ítems para seleccionar las matrices pueden verse que en algunos casos se tienen valores altos en exportaciones como la uchuva, sin embargo, su producción no es tan alta comparada al mango que es la fruta con mayor producción de la tabla. Se escogió finalmente la zanahoria, el tomate y el mango debido a que mantienen altos valores de producción, alto contenido de humedad y de exportaciones, esto nos indica que son frutas con buen potencial en un futuro. Por lo tanto, se realizó una investigación en profundidad de las matrices seleccionadas.

Hortalizas

Tomate

El término 'tomate' se refiere al fruto comestible de la planta *Solanum Lycopersicum*, conocida como tomatara. Este fruto se presenta en diversas formas, que pueden ser redondas, ovaladas o incluso acostilladas, y es una baya carnosa. Originario de América, el tomate se cultiva en todo el mundo en la actualidad y se consume de diversas maneras, ya sea fresco, en salsas, jugos, entre otros. La tomatara es una planta herbácea perenne.

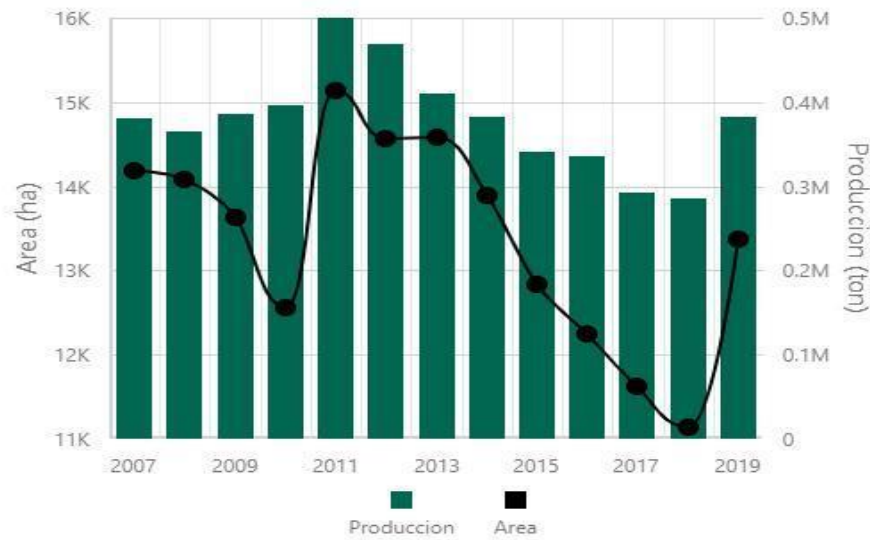
La región de mayor productividad de tomates en Colombia se encuentra en Boyacá, seguida de Caldas, Cundinamarca, Risaralda y Norte de Santander, entre otros lugares. Según los datos de Finagro, Colombia es un importante productor de tomates y ocupa el puesto 34 a nivel mundial en términos de producción. El tomate Chonto es la variedad más utilizada en la cocina colombiana.

En este contexto, según estadísticas proporcionadas por Procolombia, la alta producción de tomates ha impulsado las exportaciones a países como las Antillas Holandesas (228.174 dólares), Aruba (49.200 dólares), Ecuador (18.910 dólares) y España (2.281 dólares). Además, Procolombia confirma que el principal objetivo es expandir la exportación a los Estados Unidos. Por esta razón, se están llevando a cabo investigaciones científicas y mejoras en el cultivo, aunque aún queda trabajo por hacer en este sentido.

En cuanto a los desafíos relacionados con la producción de tomates, se destacan los insectos plaga que afectan a las plantas. Los más comunes incluyen la mosca blanca, la negrita del tomate (*Plodiplosis*), el gusano cogollero y el pasador del fruto. Estos insectos debilitan las plantas y afectan negativamente la calidad del fruto, pudiendo causar pérdidas significativas, que en algunos casos superan el 50%.

Gráfica 2.

Área cosechada y producción del tomate



Nota. Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - MADR [Gráfica].

Características fisicoquímicas y parámetros generales

Tabla 7.
Características fisicoquímicas del tomate

Generalidades		Minerales		Vitaminas	
Agua (g)	87,72	PO4 (mg)	331,32	Vitamina C (mg)	26
calorías	30	Ca (mg)	21,25	Vitamina A (Ug)	82,3
Proteínas (g)	1,78	Mg (mg)	21,18	Vitamina E (mg)	1,2
grasas(g)	0,16	K (mg)	17,03	Vitamina D (Ug)	0
Ceniza (g)	0,88	Fe (mg)	7,44	Vitamina B6 (Ug)	0,11
Carbohidratos (g)	5,36	Zn (mg)	1,53		
Fibra Total (g)	4,10	Mn (mg)	0,11		

Nota. Características fisicoquímicas del tomate para 100 g. Fuente, John K. (2014). International Journal of Applied Linguistics & English Literature. [Tabla]

Tabla 8.

Parámetros generales del tomate

Parámetro	Madurez fisiológica
Sólidos solubles °Bx	5.5
Actividad de agua (Aw)	87.72
pH	3,5
% acidez (% ácido cítrico) Kg/cm2	0,20

Nota. Parámetros generales del tomate para 100 g. Fuente: John K. (2014). International Journal of Applied Linguistics & English Literature [Tabla]

Tabla 9.

Producción, exportación y consumo del tomate en Colombia

Año	Producción(ton)	Exportación(ton)	Consumo(ton)
2015	337.066	85	336.981
2016	303.148	208	302.940
2017	183.419	176	183.243
2018	816.832	306	816.842
2019	822.418	917	821.501

Nota. Datos del consumo de tomate a nivel nacional fuente.

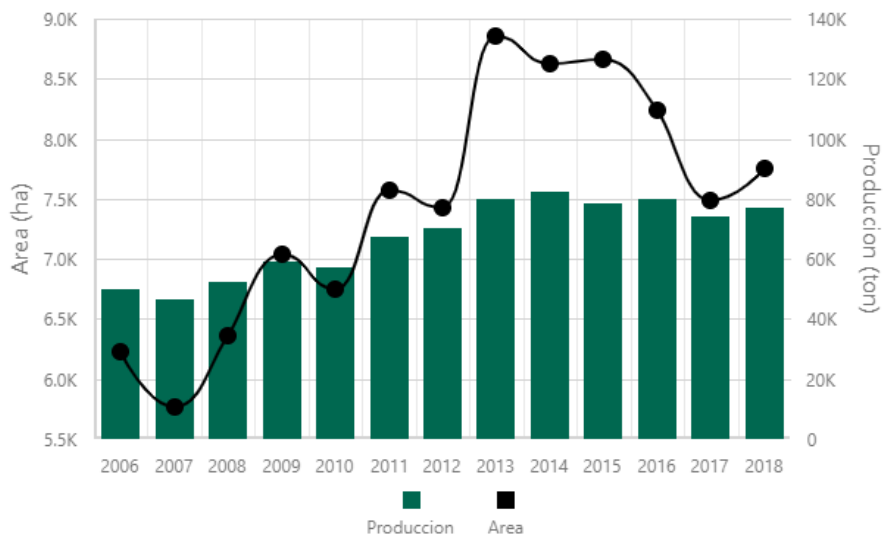
Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - MADR, FAOSTAT (2022)

Zanahoria

La zanahoria es una planta que se origina en el centro asiático y la región mediterránea. Ha sido cultivada y consumida desde tiempos antiguos, siendo apreciada por civilizaciones como los griegos y los romanos. En sus primeros años de cultivo, las raíces de las zanahorias tenían un tono violáceo. El cambio a su característico color naranja ocurrió alrededor de mediados del siglo. Este cambio de color se debió a selecciones específicas que condujeron a la acumulación de una gran cantidad de caroteno, el pigmento responsable del color naranja en las zanahorias. Estas selecciones han servido como base para las variedades de zanahorias que conocemos en la actualidad.

Gráfica 3.

Área cosechada y producción de la zanahoria.



Nota. Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - MADR

Tabla 10.

Características fisicoquímicas de la zanahoria

Generalidades		Minerales		Vitaminas	
Agua (g)	88.29	Calcio (mg)	33	Vitamina C (mg)	5.9
Energía (Kcal)	41	Hierro (mg)	0.3	Vitamina A (Ug)	835

Proteínas (g)	0.93	Magnesio (mg)	0.1 43	Vitamina E (mg)	0.1
Lípidos totales (g)	0.2	Fósforo (mg)	35	Vitamina K (Ug)	13. 2
Ceniza (g)	0.3	Potasio (mg)	320	Vitamina B9 (Ug)	19
Carbohidratos (g)	9.58	zinc (mg)	0.2 4		
Fibra Total (g)	2.8				

Nota. Características fisicoquímicas de la zanahoria para 100 g. Fuentes: USDA National Nutrient Database [Tabla]

Tabla 11.
Parámetros generales de la zanahoria

Parámetro	Madurez fisiológica
Sólidos solubles °Bx	10
Actividad de agua (Aw)	88.29
pH	5
% acidez (% ácido crítico)	0.23

Nota. Nota. Parámetros generales de la zanahoria para 100 g. Fuente Fuentes: USDA National Nutrient Database [Tabla]

Tabla 12.
Producción, exportación y consumo de la zanahoria en Colombia

Año	Producción(ton)	Exportación(ton)	Consumo(ton)
2015	247.768	3	247.765
2016	306.746	18	306.728

2017	149.735	17	149.718
2018	278.451	19	278.432
2019	271.001	17	270.984

Nota. Datos de producción, exportación y consumo de zanahoria a nivel nacional fuente. Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - MADR, FAOSTAT (2022)

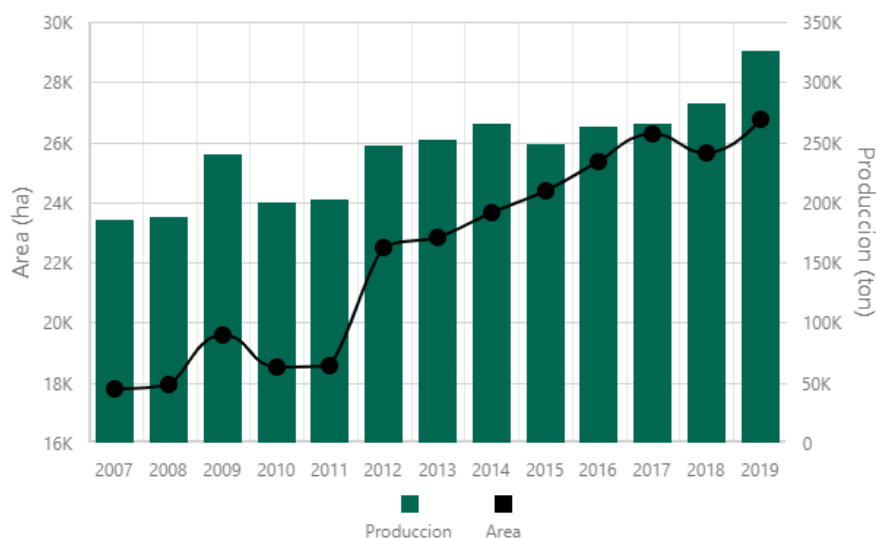
Frutas

Mango

El mango es un fruto que destaca tanto por su valor nutricional y funcional como por su relevancia en términos tecnológicos. Desde una perspectiva nutricional, el mango constituye una fuente rica de carbohidratos, vitaminas y antioxidantes. En promedio, 100 gramos de pulpa de mango proporcionan alrededor del 47% de la ingesta diaria recomendada de vitamina C para un adulto, un 25% de la ingesta diaria de vitamina A y un 13% de vitamina E. En cuanto a sus propiedades funcionales, el mango es especialmente rico en diversos antioxidantes, destacando entre ellos la mangiferina y el lupeol.

Gráfica 4.

Área cosechada y producción del mango



Nota. Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - MADR

Evidencia en un estudio realizado por Quintero y col., (2013), que documenta la evolución de parámetros como el valor de Aw (actividad de agua), grados Brix (°Bx), pH, porcentaje de acidez y firmeza de la pulpa en mangos desde su estado de madurez fisiológica (día cero) hasta transcurrir 9 días. La siguiente tabla presenta los rangos de variación de estas características fisicoquímicas, desde el punto de madurez fisiológica hasta alcanzar la madurez comercial. Esto significa que los mangos han desarrollado su máxima dulzura y aroma, mientras que su consistencia es lo suficientemente firme pero también suave para su consumo."

Características fisicoquímicas del mango

Generalidades		Minerales		Vitaminas	
Agua (g)	81.0	PO4 (mg)	12,2	Vitamina C (mg)	81,6
calorías	60	Ca (mg)	0,59	Vitamina A (Ug)	739,3
Proteínas (g)	0,5	Mg (mg)	20,2	Vitamina E (mg)	0,90
grasas(g)	0,2	K (mg)	12,3	Vitamina D (Ug)	
Ceniza (g)	0,5	Fe (mg)	190	Vitamina B6 (Ug)	
Carbohidratos (g)	16,2	Zn (mg)	2		
Fibra Total (g)	2,3	Mn (mg)			

Nota. Características fisicoquímicas del mango para 100 g. Fuentes: Correa, C. (2006). Riqueza química del mango. Antioquia: Revista Universidad Eafit

Parámetros generales del mango.

Parámetro	Madurez fisiológica
Sólidos solubles °Bx	10.5
Actividad de agua (Aw)	0.992

pH	3.3
% acidez (% ácido cítrico) Kg/cm2	5.4

Nota. Parámetros del mango para 100 g Fuentes: Tharanathan y col., 2006

Producción, exportación y consumo del mango en Colombia

Año	Producción(ton)	Exportación(ton)	Consumo(ton)
2015	248.510	304	248.206
2016	262.493	922	261.571
2017	265.381	905	264.476
2018	321.083	953	320.130
2019	365.461	1.729	363.732
2020	370.507	2.388	368.119

Nota. Datos de producción, exportación y consumo de mango a nivel nacional fuente. Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - MADR, FAOSTAT (mayo, 25, 2022)

Fisiología

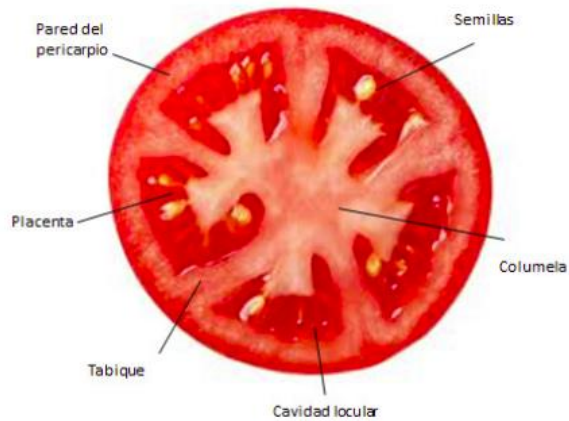
En Colombia, existen regiones con condiciones ecológicas ideales para el cultivo del mango, estas áreas son secas y cálidas, como el Valle, Magdalena, Cauca, Costa Atlántica, Guajira, Tolima, Huila y partes de los Llanos Orientales. El mango pertenece a la familia de las Anacardiáceas y al género *Mangifera*, que engloba 62 especies arbóreas, de las cuales 16 producen frutos comestibles. Los árboles son perennes y siempre verdes, con una altura que oscila entre 10 y 20 metros, y su forma puede variar según factores. como la propagación, la poda y la variedad.

Las flores del mango se presentan en panículas ramificadas que emergen de las yemas terminales de las ramas. El fruto es una drupa con un endocarpio duro del que se extienden fibras por la pulpa. El mango varía significativamente en tamaño, color, forma, sabor y aroma. El mesocarpio, que es la parte comestible, es firme y contiene un jugo dulce de

exquisito sabor. El color del mango puede variar desde un amarillo cremoso hasta un naranja oscuro, dependiendo de la variedad.

Figura 16.

Morfología del fruto de tomate

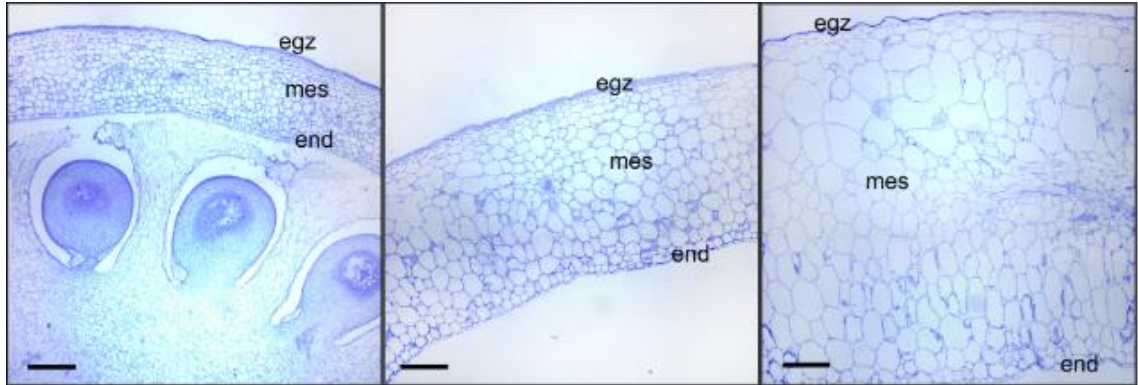


Nota. Noale, H. N. (2016).

El tomate estudiado es de tipo silvestre donde se señalaron las siguientes partes, “El fruto del tomate consta de pericarpio y semillas. El pericarpio se compone de: exocarpo, mesocarpo y endocarpo. La capa externa de células del exocarpo es la epidermis y debajo hay dos o tres capas de células epidérmicas con paredes celulares gruesas. La epidermis posee una cutícula relativamente fina, cuyo grosor aumenta con el crecimiento del fruto. El mesocarpo está formado por células grandes de pared fina y tejido vascular (Rančić et al., 2010)”. Como podemos observar el tomate es un fruto que cuenta con unas paredes relativamente gruesas con el pasar del tiempo, sus semillas cuentan con un importante porcentaje de humedad además cabe resaltar que su tonalidad rojiza es debido al licopeno.

Figura 17.

Secciones transversales del pericarpio de frutos de tomate de tipo silvestre

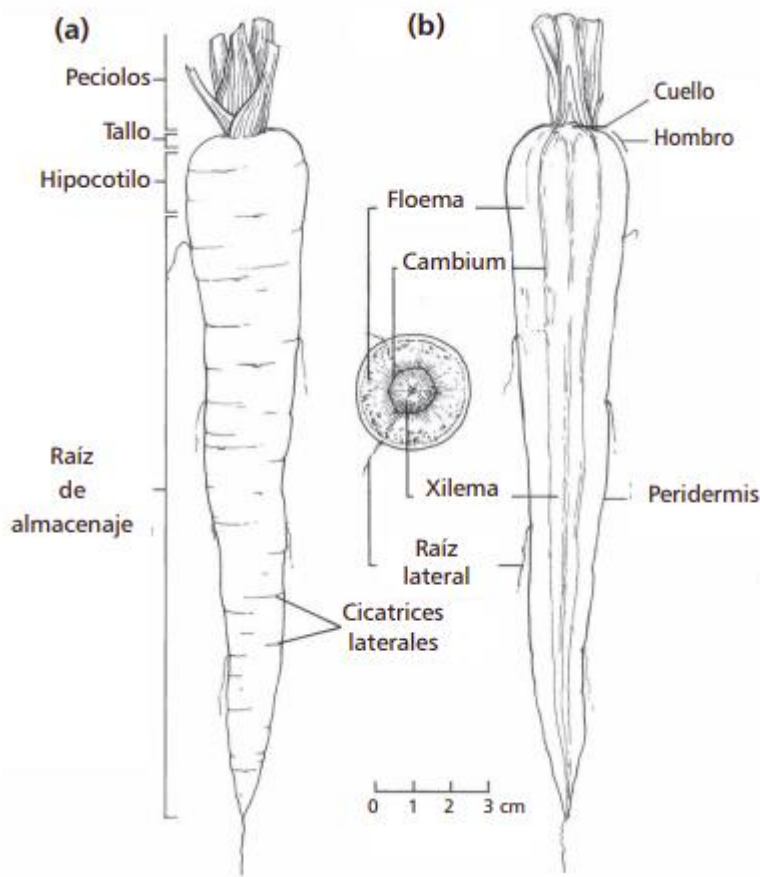


Nota. Rančić et al. (2010)

En la figura 8 se examinó el tomate, más exactamente en su pericarpio de donde resaltamos un amplio grosor en el mesocarpio, sin embargo, no deja de ser un fruto en el que sus paredes son susceptibles a daños.

Figura 18.

Anatomía de la raíz de la zanahoria: (a) vista longitudinal y (b) vista en cortes transversal y longitudinal

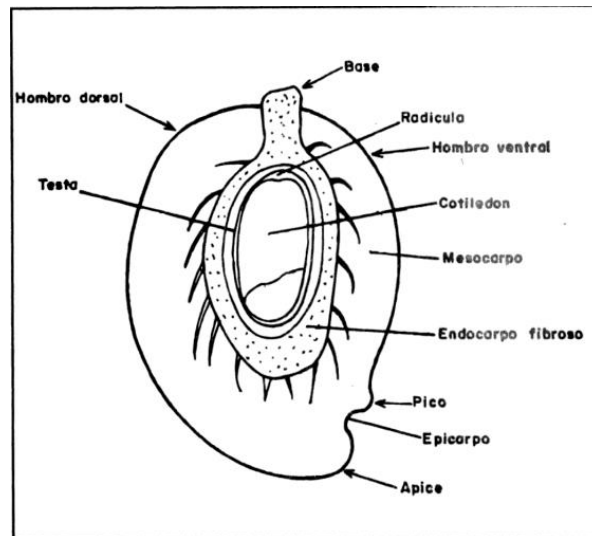


Nota. Saavedra et al. (2019)

Esta es una planta de la cuál usamos la raíz y su largo puede llegar a ser entre 5 y 50 cm, así como su diámetro puede alcanzar los 10 cm dependiendo su variedad, “La zanahoria se destaca por su alto contenido de carotenos, en especial de pro- vitamina A. Aproximadamente el 90% de su peso corresponde a agua. (Ávila, 2015)”

Figura 19.

Fruto de mango y sus partes.



Nota. Sergent. E. (1999)

El mango es una fruto carnoso o mejor conocido como drupa, que varía en su estructura, considerablemente en tamaño, forma, coloración, aroma, sabor y contenido de fibra. En cuanto a la forma puede ser oblongo, elíptico, ovoide, reniforme, achatado.” (Galvis & Herrera, 2015). Se compone del pericarpo en donde encontramos el exocarpo, mesocarpo y endocarpo en donde dicho mesocarpo tiene aproximadamente del 33%-85% de masa de la fruta. “El exocarpo tiene alrededor de 7% a 24% de la masa de la fruta, esta misma compuesta por proteínas, carbohidratos solubles, fibra, péptidos y componentes bioactivos (Okino-Delgado et al., 2020)”.

Toma de decisión por AHP

El método de Toma de Decisiones AHP (Analytic Hierarchy Process) es una técnica desarrollada por Thomas Saaty. Es un enfoque cuantitativo utilizado para la toma de decisiones en situaciones que involucran múltiples criterios. Este método permite la

generación de escalas de prioridades al utilizar juicios. expertos que se expresan a través de comparaciones por pares, utilizando una escala de preferencia. (Nantes, 2019). Es decir, nos posibilita la inclusión de valoraciones subjetivas en un modelo de toma de decisiones, expresando la superioridad o preferencia de una opción sobre otra en relación a un atributo determinado.

Observando diferentes aspectos o factores relacionados a la deshidratación de frutas y verduras, se evaluaron alternativas para conocer cuáles serían las matrices que finalmente se van a secar. Para esto se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Producción de dicha matriz deshidratada
- Relación estructura/humedad
- Tiempo de secado
- Pérdidas

Para obtener la producción de tomate, zanahoria y mango se realizó una estimación teniendo en cuenta los porcentajes que manejan otros países y la cantidad de producción de la matriz fresca a comparación de Colombia.

El tomate es una de las hortalizas más producidas y consumidas en el mundo, se encuentra en una gran cantidad de alimentos por lo que al tener una mayor producción también unas mayores pérdidas, dichas pérdidas están dadas por diferentes factores como el transporte, el almacenamiento, etc. lo cual hace que países como Egipto destinen el 6% de su producción al proceso de deshidratación. Por otra parte, el mango es una fruta que cuenta con una considerable cantidad de producción, pero a su vez una alta proporción de pérdidas, cercanas a un 25%. La UE ocupa el 5% de su producción para la deshidratación mientras que Asia destina el 4% aproximadamente siendo Filipinas su mayor productor. En cuanto a la zanahoria se pudo observar que el tiempo de secado no es amplio en comparación con otras hortalizas, sin embargo, se encontró que la misma no se deshidrata en altos porcentajes pues su estructura es más sólida respecto a otras frutas o verduras y esto provoca que las pérdidas no sean tan altas.

Dicho lo anterior se calcularon los datos para hacer la siguiente tabla.

Tabla 13.

Datos iniciales de la matriz para la toma de decisión

Criterio	Mango	Tomate	Zanahoria
Producción matriz fresca(ton)	344386	556692	257023
Porcentaje de la matriz que se destina a deshidratar	2%	3-5%	0,22%
Producción(ton)	6888	16701	565
Humedad / Estructura	5	3	4
Tiempo de secado(min)	800	580	450
Pérdida(ton)	157500	52856	6570

Esta información es fundamental para poder obtener los resultados junto a los pesos del método de jerarquía AHP. El criterio humedad/estructura se da en una calificación de 1 a 5, donde 5 es la mayor complejidad al secado y 1 es la mayor facilidad al secado. Así pues, se realiza una matriz de comparación en pares donde se determina la importancia o relevancia que tendrán los criterios anteriormente mencionados pues estos darán como resultado la fruta ideal a deshidratar.

Tabla 14.
Matriz de comparación en pares

Criterio	Producción (MÁX)	Humedad / Estructura (MÁX)	Tiempo de secado (MIN)	Pérdida (MAX)
Producción(C1)	1	1/5	1/3	1/7
Humedad / Estructura(C2)	5	1	3	1/3

Tiempo de secado(C3)	3	1/3	1	1/5
Pérdida(C4)	7	3	5	1
Total	16,000	4,533	9,333	1,676

Nota. Autoría propia

Luego de matriz de comparación en pares, tendremos la suma de cada criterio comparado con los otros criterios de modo que el siguiente paso será calcular los pesos de los criterios. Cabe resaltar que cada puntuación fue dada teniendo en cuenta las problemáticas que antes se nombraron.

Tabla 15.

Cálculo de pesos por jerarquía AHP

Criterio	Matriz Normalizada				Pesos por AHP - Valor Promedio
C1	0,063	0,044	0,036	0,085	0,057
C2	0,313	0,221	0,321	0,199	0,263
C3	0,188	0,074	0,107	0,119	0,122
C4	0,438	0,662	0,536	0,597	0,558

Nota. Autoría propia

Una vez obtenidos los pesos, podemos notar como las pérdidas (C4) van a tener una mayor trascendencia en comparación a la producción(C1) o que la humedad/estructura(C2) es quien le sigue en esa trascendencia a las pérdidas, teniendo en el tercer lugar el tiempo de secado(C3) y por último la producción(C1).

Tabla 16.

Cálculo de la razón de consistencia

Vector	N MAX
0,229881953	4,17667976
1,099376114	
0,491902215	
2,355519481	

Nota. Autoría propia

Posteriormente, se obtienen los vectores de cada criterio que son un promedio de los pesos y esto con el fin de calcular N MAX. Este vector se halla al calcular la columna de vectores anteriormente mencionadas y realizando una sumatoria de los mismos.

Tabla 17.

Índice aleatorio CA

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Nota. Toskano Hurtado, G. B. (2005)

Una vez se tiene N MAX, se procede a calcular el índice de inconsistencia donde el NCRIT es el tamaño de la matriz. Finalmente, la razón de consistencia se aplica la fórmula de esta y obtenemos un valor, dicho valor debe ser menor a 0.10 ya que si es mayor se considera inconsistencia.

$$IC = (NMAX - NCRIT) / (NCRIT - 1)$$

$$IC = \frac{(4,18 - 4)}{(4 - 1)} = 0,0588$$

$$CA = 0.89$$

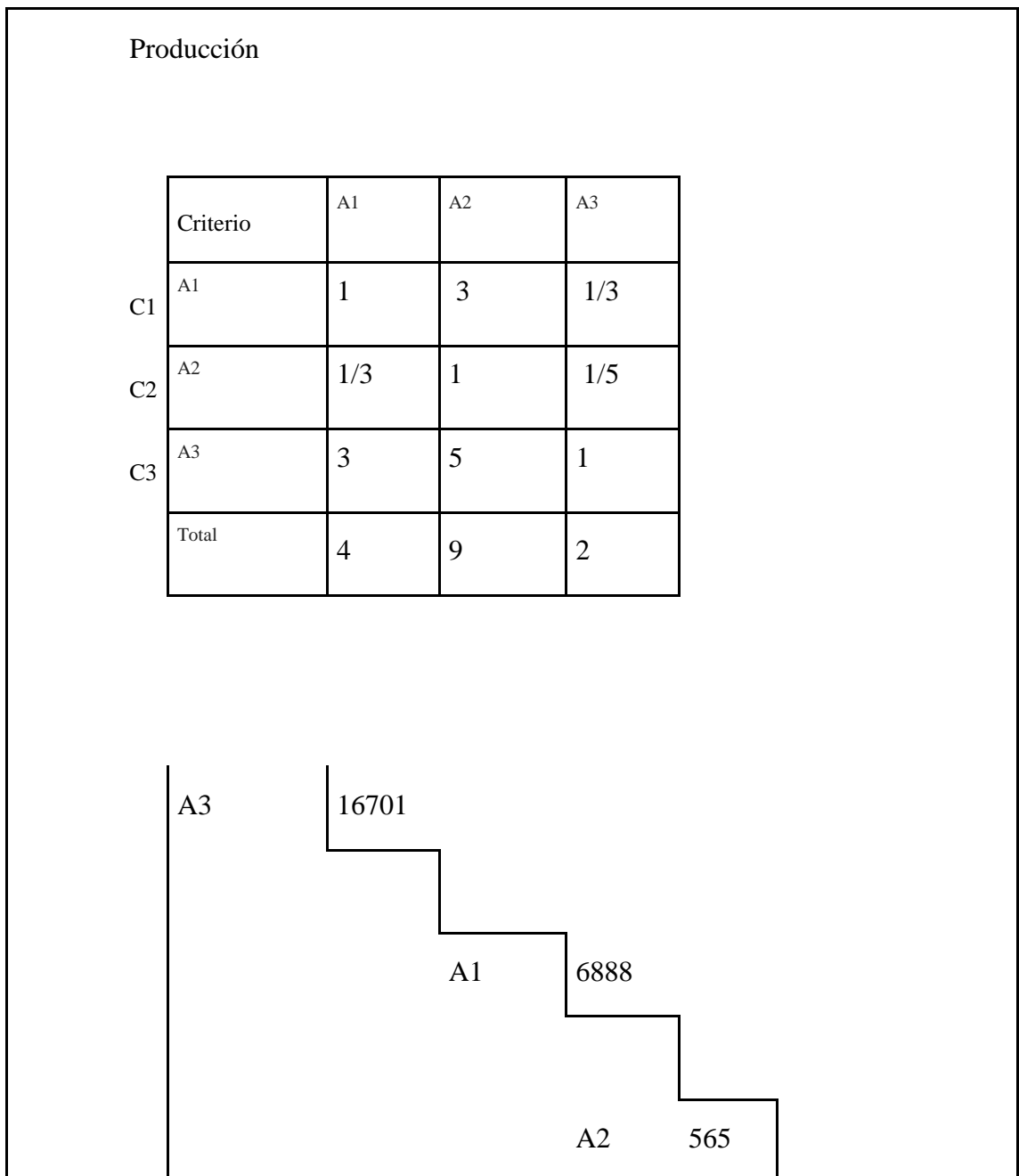
$$RC = \frac{IC}{CA}$$

$$RI = \frac{0,0588}{0,89} = 0,066$$

A continuación, se realiza el proceso de análisis jerárquico por cada criterio evaluándose con las alternativas, de modo que los datos de la tabla 14 se usan para contrastar el mango, la zanahoria y el tomate. En la producción podemos destacar que quien destina mayores toneladas a deshidratar es el tomate, seguido del mango y por último la zanahoria.

Tabla 18.

Matriz por jerarquía AHP para la producción



Ponderada

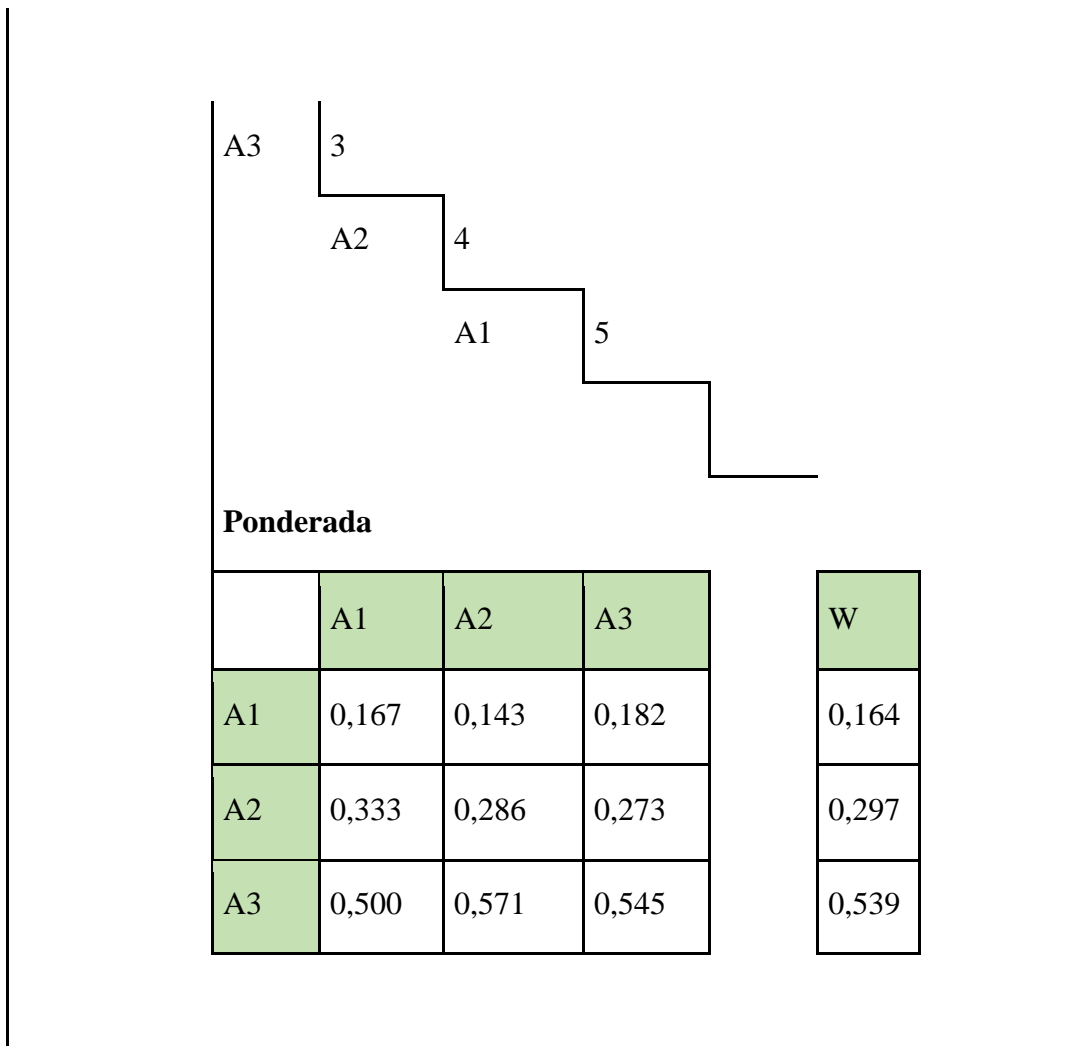
	A1	A2	A3	W
A1	0,231	0,333	0,217	0,206
A2	0,077	0,111	0,130	0,106
A3	0,692	0,556	0,652	0,633

Para la relación humedad/estructura se realizó una escala donde se clasificaron las 3 matrices por su facilidad para perder humedad en el proceso de secado, donde 5 es el más difícil y 1 es el que tiene mayor facilidad

Tabla 19.
Matriz por jerarquía AHP para humedad/estructura

Humedad/estructura

	Criterio	A1	A2	A3
C1	A1	1	1/2	1/3
C2	A2	2	1	1/2
C3	A3	3	2	1
	Total	6	4	2



Para el tiempo de secado quien tiene un mayor tiempo es el mango y la zanahoria cuenta con el menor tiempo.

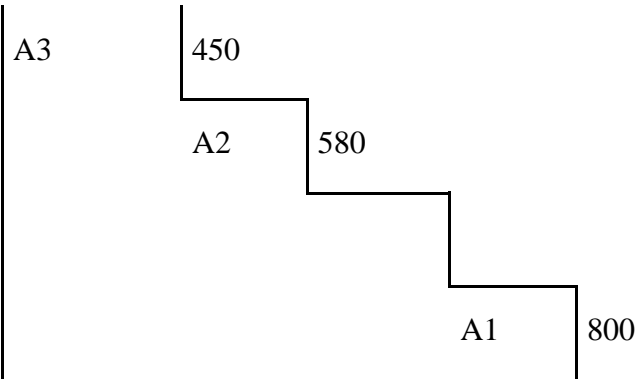
Tabla 20.

Matriz por jerarquía AHP para el tiempo de secado

Tiempo de secado

	Criterio	A1	A2	A3
C1	A1	1	1/3	1/4
C2	A2	3	1	1/2

C3	A3	4	2	1
	Total	8	3	2



Ponderada

	A1	A2	A3
A1	0,125	0,100	0,143
A2	0,375	0,300	0,286
A3	0,500	0,600	0,571

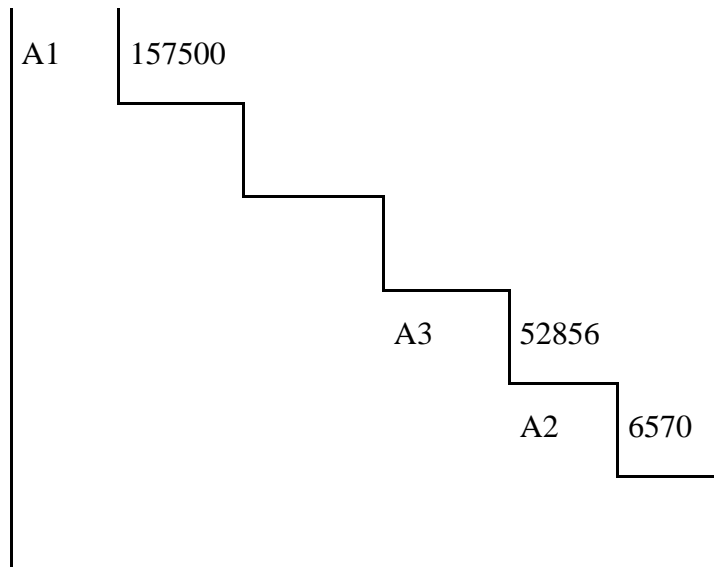
W
0,123
0,320
0,557

Para este criterio se clasificaron las matrices de acuerdo con el número de pérdidas más alto, es decir, entre mayor sea la cantidad que se pierda más importante es lograr secarlo.

Tabla 21.
Matriz por AHP para las pérdidas

Pérdidas

	Criterio	A1	A2	A3
C1	A1	1	5	4
C2	A2	1/5	1	1/2
C3	A3	1/4	2	1
	Total	1,45	8	5,5



Ponderada

	A1	A2	A3
A1	0,690	0,625	0,727

W
0,681

A2	0,138	0,125	0,091	0,118
A3	0,172	0,250	0,182	0,201

Nota. Autoría propia

Para finalizar se realiza una tabla final con los resultados del análisis jerárquico y los pesos por AHP para poder obtener la prioridad global de cada matriz

Tabla 22.
Resultados finales y ponderación global

		Producción(ton)	Humedad / Estructura	Tiempo de secado(min)	Pérdida(ton)
A1	Mango	0,260	0,164	0,123	0,681
A2	Zanahoria	0,106	0,297	0,320	0,118
A3	Tomate	0,633	0,539	0,557	0,201
	Pesos por AHP	0,057	0,263	0,122	0,558

Matriz	Prioridad global
Mango	0,453
Zanahoria	0,189
Tomate	0,358

Nota. Autoría propia

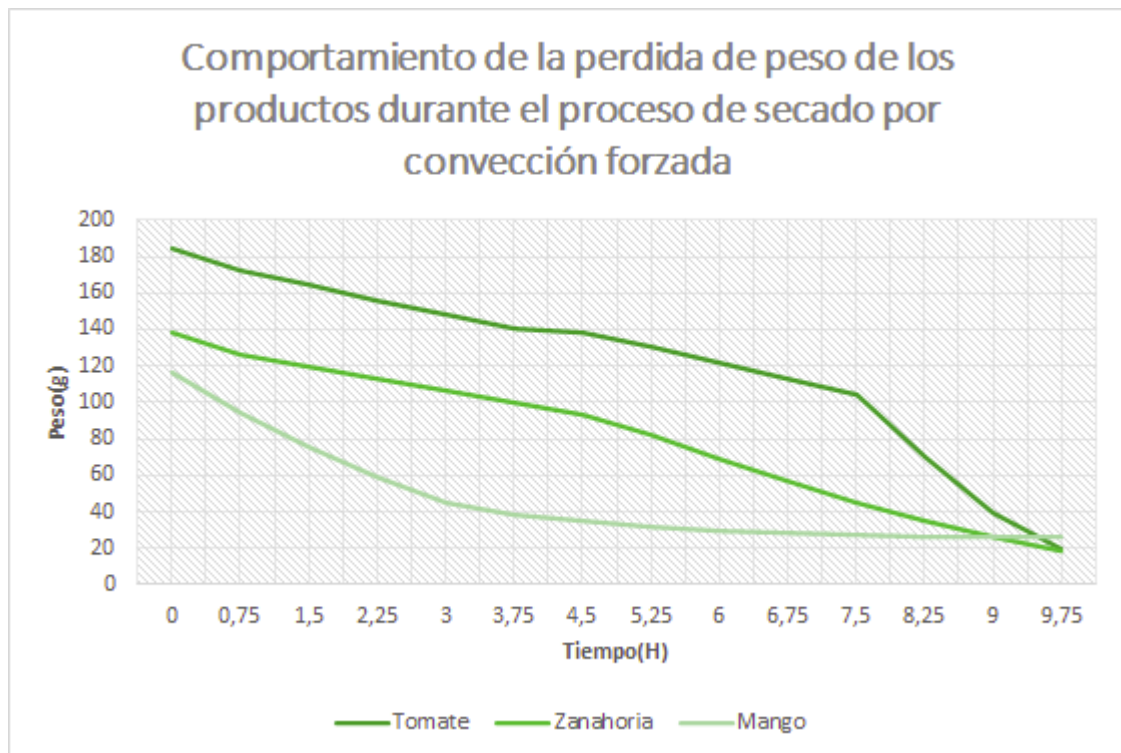
Después de completar este proceso técnico, se llegó a la conclusión de que el mango tiene el mayor peso relativo del 45%, lo que significa que se considera la opción más importante para deshidratar en función de los criterios y subcriterios evaluados. El tomate sigue con un peso del 35%, y la zanahoria tiene un peso del 19%.

Estos pesos reflejan la prioridad asignada a cada alimento en función de los factores técnicos y las comparaciones realizadas, lo que respalda la decisión de dar prioridad a la deshidratación del mango.

2. En los primeros resultados obtenidos en el laboratorio se pudo identificar el comportamiento en la pérdida de peso mediante el proceso de secado por convección forzada.

Gráfica 5.

Comportamiento de la pérdida de peso de los productos durante el proceso de secado por convección forzada para el tomate, la zanahoria y el mango

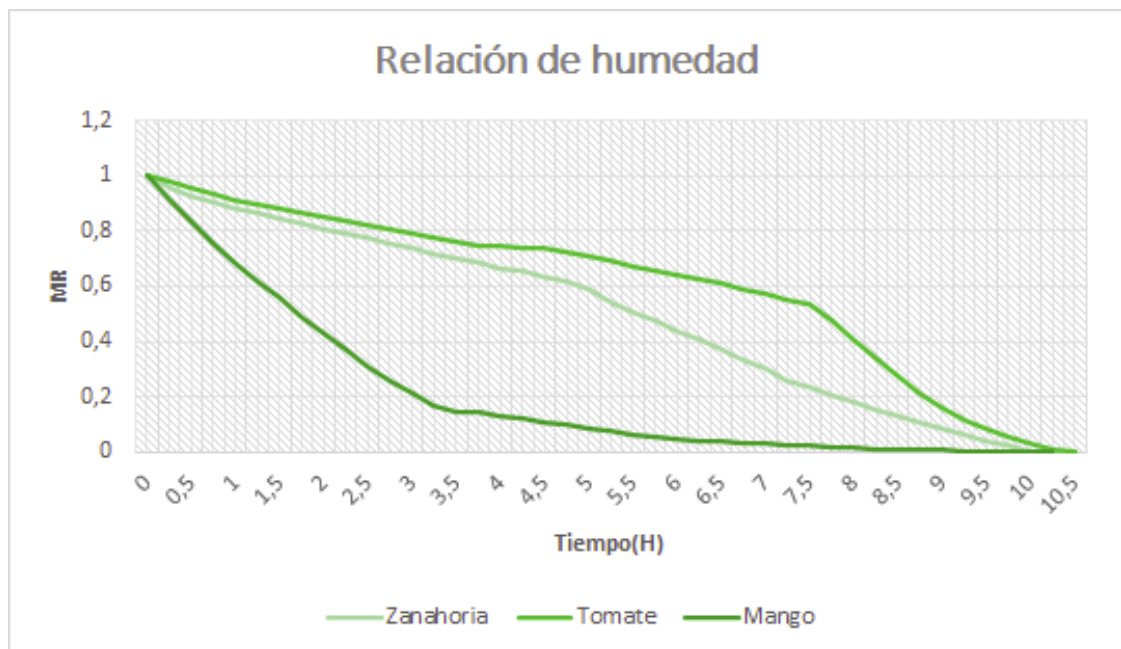


Nota. Autoría propia

Se pudo identificar que el tomate y el mango tenían una mayor duración en la en el proceso de secado por convección forzada, ya que contienen altos porcentajes de humedad a diferencia de la zanahoria la cual por su composición tiene menores porcentajes de humedad, pero de igual manera en los resultados obtenidos se pudo notar que la zanahoria si tenía pérdidas de humedad a diferencia de su composición inicial. Lo cual nos permitió ver que si es posible deshidratar una hortaliza como la zanahoria.

Gráfica 6.

Relación de humedad para el tomate, zanahoria y mango a una temperatura de $328.15 \text{ K} \pm 278.15 \text{ K}$ (Primera prueba en laboratorio)



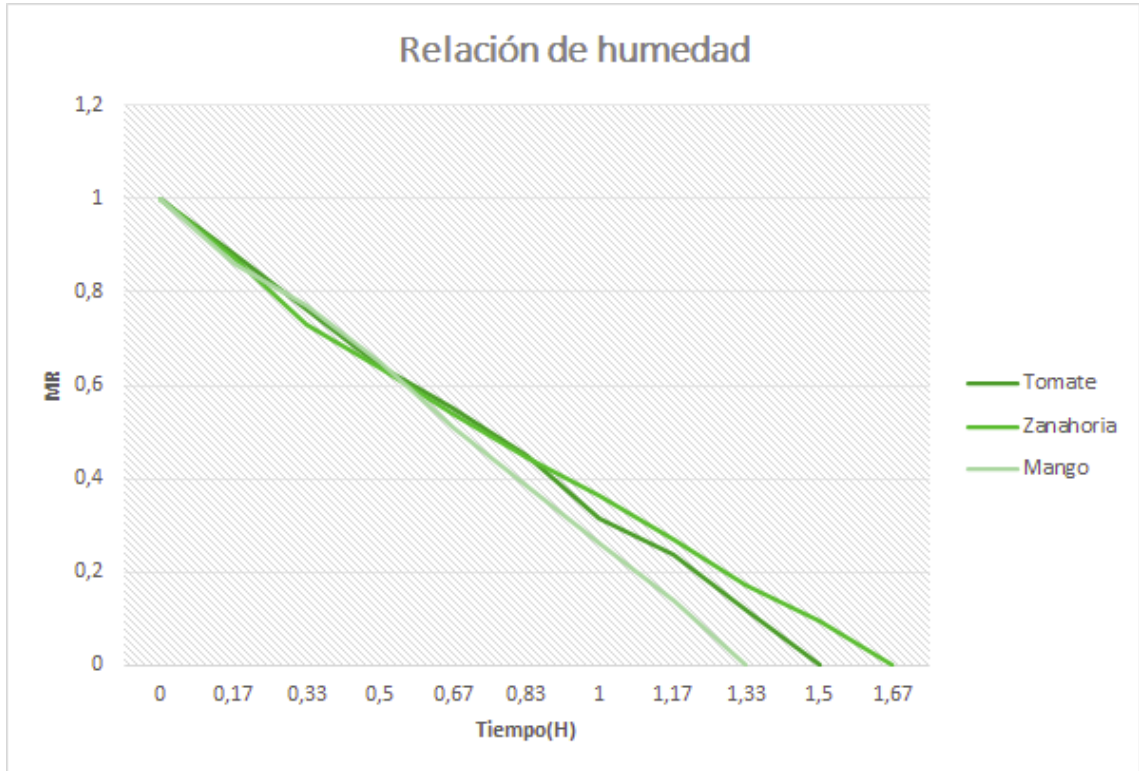
Nota. Autoría propia

En la gráfica 6 los datos se obtuvieron por la aplicación de fórmulas que nos permitió conocer los valores de las proporciones de humedad en cada una de las matrices, aplicando la fórmula del índice de humedad, de esta manera conocimos el comportamiento de la humedad en cada punto de la gráfica para las tres matrices.

Para una revisión detallada del comportamiento se llevaron a cabo una segunda prueba en donde se evaluó con condiciones iniciales similares a la primera para las mismas matrices, sin embargo, dicho laboratorio tuvo unas horas menos de secado, pero se alistaron las matrices de una manera distinta a la primera prueba. Por ejemplo, los cortes de tomate tuvieron un menor grosor en comparación a las anteriores muestras.

Gráfica 7.

Relación de humedad para el tomate, zanahoria y mango a una temperatura de 323.15 K \pm 278.15 K (Segunda prueba en laboratorio)

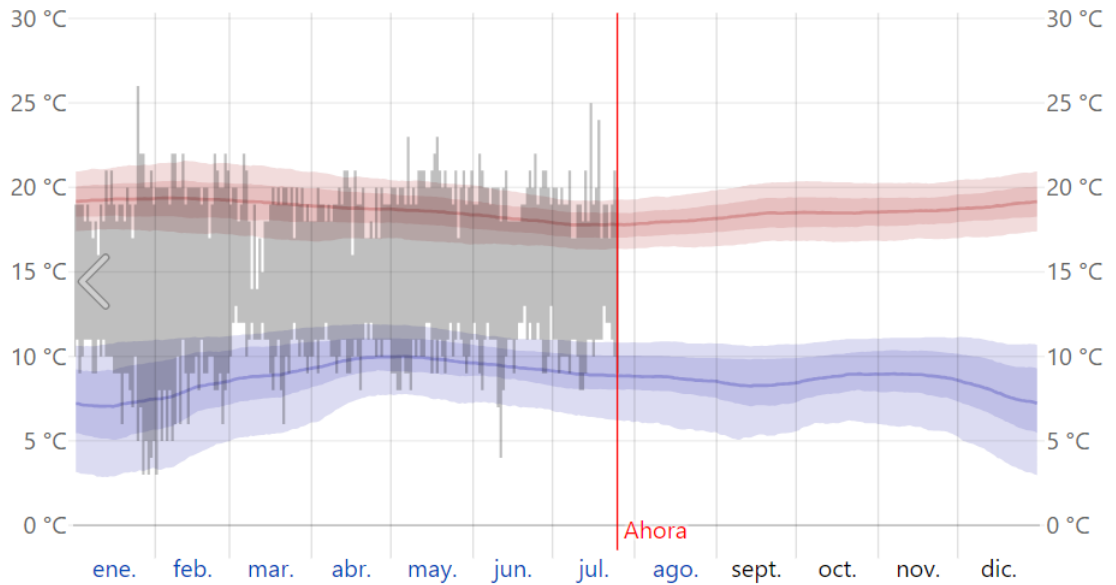


3. La ciudad de Bogotá está ubicada en una meseta de la rama oriental de la Cordillera de los Andes, a una altitud de aproximadamente 2.610 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son aproximadamente 4 grados 35 minutos y 55.2 segundos de latitud norte y 74 grados 5 minutos y 37,5 segundos de longitud oeste con respecto a París.

La Cordillera de los Andes, en la zona donde se encuentra Bogotá, se extiende en dirección sudoeste-noroeste y se desvía hacia el este a medida que se adentra en el territorio de Venezuela. Al este de los Andes, se extiende una vasta llanura que se extiende hasta las costas de Brasil, Uruguay y La Plata

Gráfica 8.

Evolución temporal de la temperatura en Bogotá durante 2023



Nota. WeatherSpark. (2023). El clima de Bogotá.

Humedad en Bogotá

En Bogotá, la humedad relativa media anual se encuentra entre el 73% y el 86%. el índice de humedad más alto se encuentra en la parte cercana al río Tunjuelo, específicamente en un área llamada La Regadera donde es común que alcance el 86%. Se presume que esta alta humedad se debe a la presencia del embalse puesto que el mismo produce una mayor cantidad de vapor de agua en el ambiente.

En lugares como Hacienda Las Vegas, en la zona entre Fontibón y el Humedal de Capellanía, del mismo modo que en el Jardín Botánico se registran elevados niveles de humedad. El caso del Jardín Botánico, en particular, se encuentra afectado por la vegetación suburbana lo que ayuda a mantener los niveles de humedad en la zona.

Gráfica 9.

Evolución temporal de la radiación solar en Bogotá durante 2023

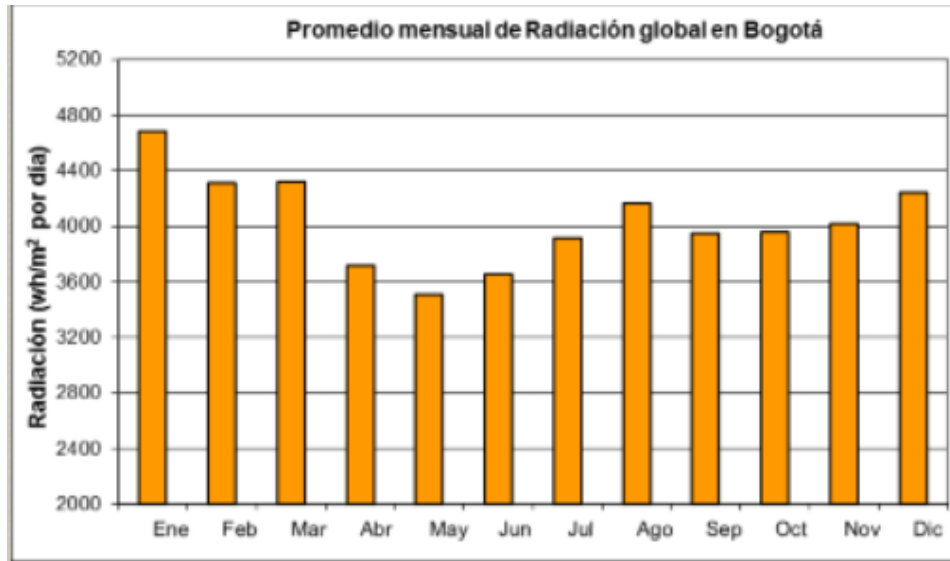
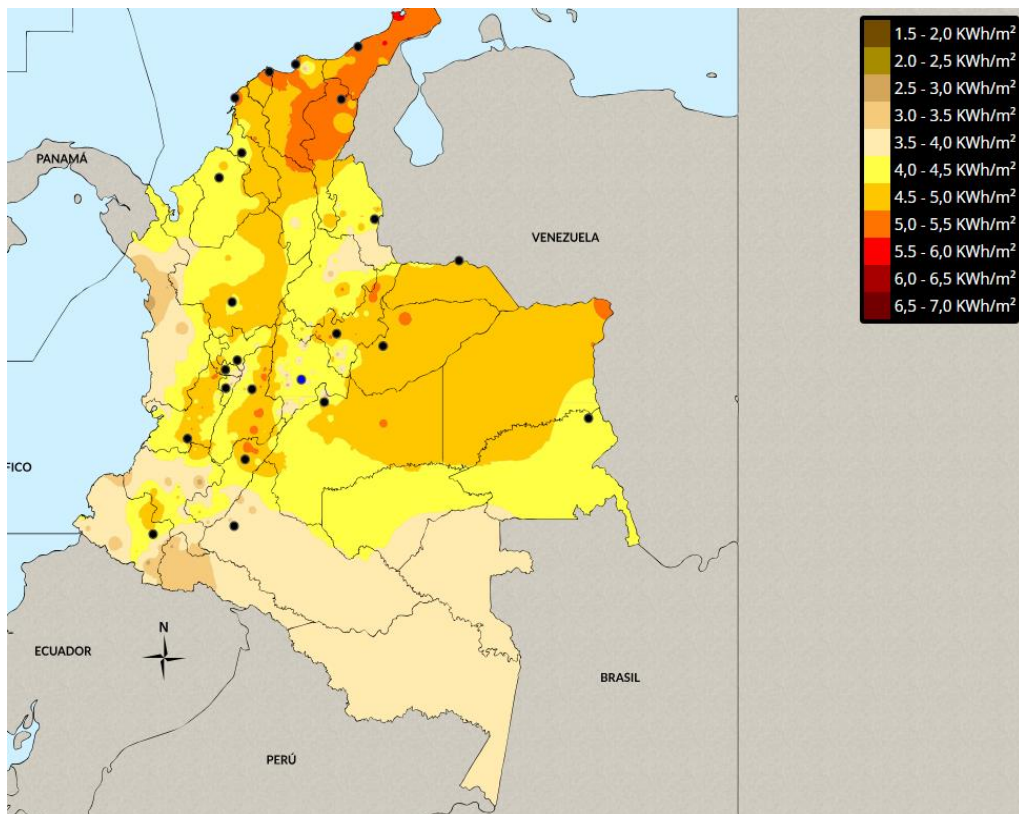


Figura 20.
Atlas Interactivo - Radiación IDEAM



Nota. IDEAM. (2021)

La más alta radiación solar en Bogotá (Estación Aeropuerto El Dorado) se presenta en los meses de enero (402,3 cal/cm²), febrero (372,1 cal/cm²), marzo (377,4 cal/cm²) y

diciembre (370,4 cal/cm²) respectivamente, con incidencia solar; los mínimos se observan en los meses de mayo (304,6 cal/cm²) y junio (314,3 cal/cm²).

Se ha identificado que, en Bogotá, los niveles de radiación solar alcanzan valores por encima de 600 W/m² entre las 10:00 a.m. y las 02:00 p.m., con algunos picos que superan los 900 W/m². Además, se observa que durante las horas anteriores a las 08:00 a.m. y posteriores a las 04:00 p.m., la radiación solar global se mantiene por debajo de los 400 W/m².

En cuanto a las franjas horarias de 08:00 a.m. - 10:00 a.m. y 02:00 p.m. - 04:00 p.m., se consideran períodos de transición en los que la radiación solar varía de manera casi constante desde 400 W m⁻² hasta valores superiores a 600 W m⁻².

Densidad y velocidad del aire

Señala Burgos Gutiérrez et al. (2015) en la estación meteorológica de la Fundación universitaria Los Libertadores, que se encuentra en el área metropolitana de Bogotá, se registraron datos de velocidad media del aire la cual fue 1,71 m/s y una densidad de potencia eólica de 4,33W/m², de estos datos se destaca que:

- Hay poca probabilidad de alcanzar fuertes vientos
- Favorable exposición al viento y escasez de obstáculos
- Velocidad media alta
- Vientos intensos con niveles de turbulencia dentro de límites aceptables.

Humedad del aire

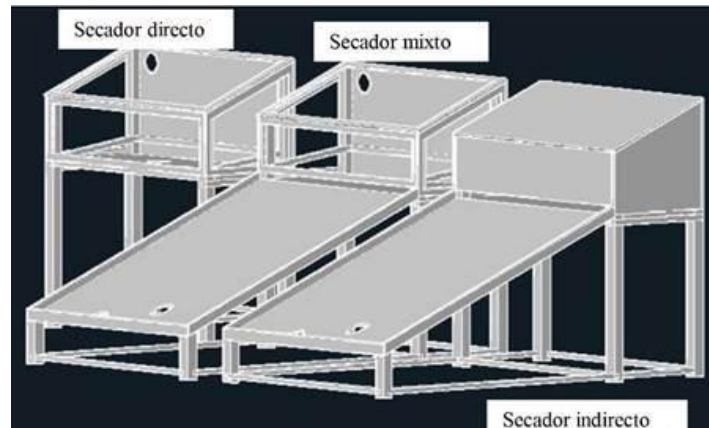
Según un estudio realizado por el IDEAM, se ha determinado que la precipitación promedio anual es de 797 mm. A lo largo del año, las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas de lluvia. Por lo general, los meses de enero, febrero, julio y agosto son considerados secos. Las temporadas de lluvia, en cambio, abarcan desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre.

Durante los meses secos al comienzo del año, se registran aproximadamente 8 días de lluvia al mes, mientras que, durante los meses de lluvia intensa, la cantidad de días de lluvia puede alcanzar alrededor de 18 días al mes. En el año la humedad relativa varía

entre 77 y 83 %, siendo mayor en los meses de abril y noviembre y menor en julio y agosto.

4. Desarrollar el diseño planteado para el sistema de deshidratación por secado convectivo a partir de radiación solar.

Definición y uso de la herramienta para la toma de decisión



Nota. Frauberth, B. (2020). Tipos de secadores solares [Figura]. (Physalis Peruana L.). Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 28 (2), 248-254. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200248>

Se usó como base principal los tres tipos de secador que existen que son los siguientes:

A1 Secador Directo. Las frutas o verduras se encuentran dentro de una cámara hermética y recibe directamente la radiación solar. Al absorber la radiación, la temperatura de las matrices aumenta, lo que provoca un aumento en la presión de vapor del agua presente. El aire dentro de la cámara se encarga de eliminar la humedad. Debido a la limitada circulación de aire, las temperaturas tienden a elevarse significativamente, lo que podría resultar en el deterioro del producto. En el caso de estos secadores simples, presentan el inconveniente de tener una capacidad de carga reducida y proporcionar una calidad cuestionable, siendo probable que el producto se queme.

A2 Secador Indirecto. En este escenario, el producto se encuentra en una cámara de secado opaca. El aire utilizado para el secado se precalienta mediante colectores solares y se introduce en la cámara de secado. Este aire caliente transfiere calor al producto, que a su vez pierde humedad. El proceso que sigue el aire es análogo a un enfriamiento adiabático, ya que, al pasar por las bandejas, absorbe humedad y se enfría. Este método

tiene la ventaja de proteger al producto de la radiación solar, y si se controlan adecuadamente las temperaturas, se logra una calidad muy buena.

En esencia, este sistema consta de un colector solar que calienta el aire ambiente y una cámara de secado donde el producto se dispone en bandejas. La principal ventaja radica en que el producto no está expuesto directamente a la radiación solar, lo que suele preservar mejor su color. Sin embargo, si el diseño del secador no es adecuado, la circulación de aire puede ser deficiente, lo que a menudo conduce a problemas de hongos.

A3 Secador mixto En este caso, se presenta una combinación de los enfoques anteriores. El producto aún absorbe radiación, pero hay una convección mucho más activa. Como resultado, las temperaturas son más bajas, pero la eliminación de humedad es altamente efectiva. Este método tiene la ventaja de necesitar temperaturas de aire más bajas y ocupar una superficie relativamente pequeña. Este es precisamente el tipo de secador que se construirá siguiendo las indicaciones proporcionadas en el manual actual.

A partir de las definiciones dadas anteriormente, se define un aspecto importante que nos ayudará a definir la mejor configuración para el deshidratador solar.

Los aspectos fundamentales para este proyecto son:

INNOVACIÓN EN PROCESOS:

Este enfoque revolucionario se destaca por la incorporación de nuevas alternativas en cada fase del procedimiento. La utilización de estrategias como el vidrio templado, colectores y placas para la deshidratación de frutas y verduras demuestra un compromiso con la innovación en la industria alimentaria. Estas implementaciones no solo mejoran la eficiencia del proceso, sino que también introducen prácticas más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

FACILIDAD DE USO Y FABRICACIÓN:

La simplicidad y accesibilidad son esenciales en cualquier proceso industrial. Los equipos que aprovechan esta fuente de energía renovable no solo son amigables con el medio ambiente, sino que también son fáciles de manejar. Además, la sencillez en la fabricación de estos dispositivos contribuye a la viabilidad y accesibilidad general de la tecnología, permitiendo su implementación en una variedad de entornos y escenarios.

SOSTENIBILIDAD ECOLÓGICA:

El enfoque ecológico de este proceso es evidente en su capacidad para optimizar los procedimientos, eliminando la dependencia de combustibles derivados del petróleo. Al alinearse con las prioridades nacionales y la conservación del entorno, contribuye activamente a la reducción del consumo de recursos y a la preservación de los bosques. La aplicación de esta tecnología para la conservación de alimentos también se traduce en una disminución de las pérdidas debido a la oxidación, causada por la humedad, generando un impacto positivo en la sostenibilidad de la cadena alimentaria.

ECONOMÍA DE ENERGÍA Y COSTOS:

La eficiencia energética es crucial en la sostenibilidad económica de cualquier proceso industrial. El hecho de que este método no implique gastos energéticos abundantes y permita ahorros considerables, especialmente en regiones con un alto nivel de radiación solar constante, lo posiciona como una opción económicamente viable. La reducción de costos asociados al consumo de energía contribuye no solo a la rentabilidad del proceso, sino también a la sostenibilidad financiera a largo plazo.

IMPACTO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA:

La deshidratación de matrices vegetales sin comprometer los estándares de calidad es esencial para la aceptación y adopción de cualquier método en la industria alimentaria. Este enfoque se destaca por su capacidad para mantener la integridad física y química de los productos, lo que asegura que la calidad nutricional y organoléptica de las frutas y verduras se preserve durante el proceso. Este impacto positivo en la calidad de los alimentos posiciona a esta innovación como un contribuyente valioso a la industria alimentaria.

CONFIGURACIONES ALTERNATIVAS Y CALIFICACIONES:

Ahora, considerando las tres configuraciones disponibles, evaluaremos cada una de ellas en términos de innovación, facilidad de uso, sostenibilidad, economía y su impacto en la industria alimentaria. Asignaremos calificaciones en una escala del 1 al 5, donde 1 indica el rendimiento más bajo y 5 el rendimiento más alto, para cada aspecto ponderado. Esta evaluación detallada nos permitirá tomar decisiones informadas respaldadas por nuestro marco teórico y estado del arte.

A1 → Diseño directo

A2 → Diseño indirecto

A3 → Diseño mixto

Tabla 23.

Matriz de evaluación de alternativas de diseño para el deshidratador

Alternativas	Innovador	Ecológico	Económico	Impacto en la industria alimentaria	Total
A1	3	4	5	3.2	3.68
A2	5	4	4.5	3.7	4.38
A3	5	4	4.3	4	4.395
Peso Ponderado	35%	35%	15%	15%	100%

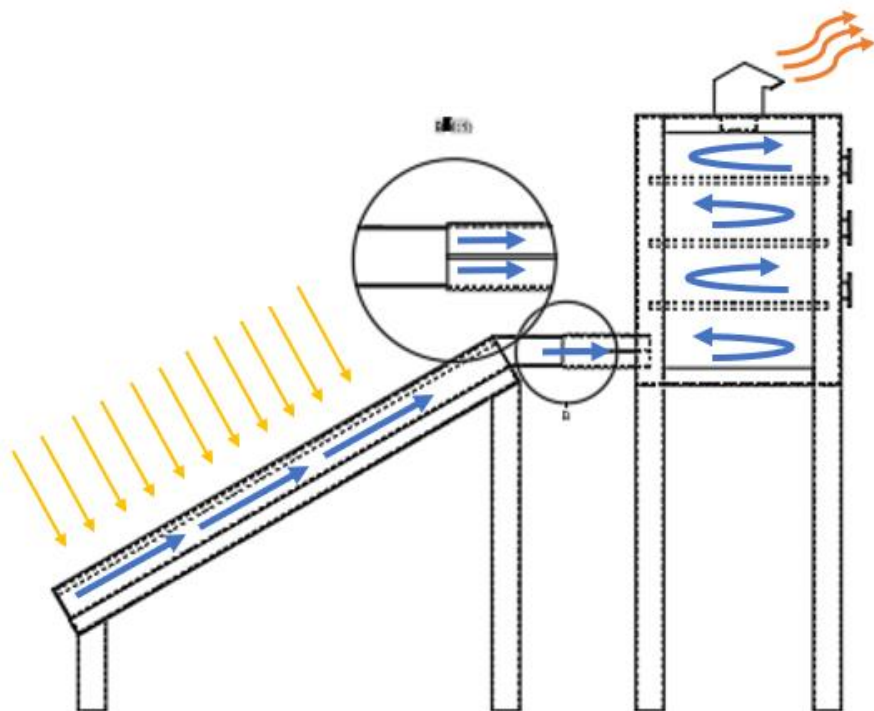
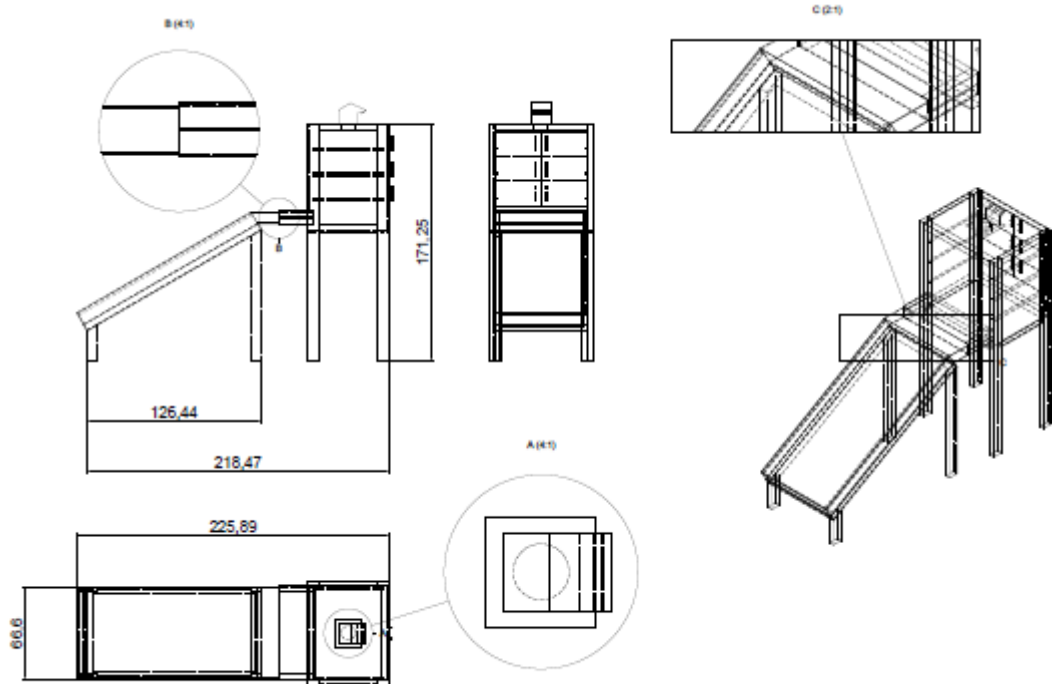
Nota. Autoría propia

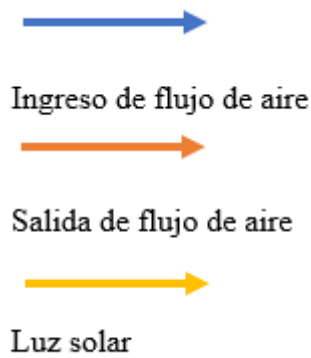
Nuestra configuración a usar es un sistema indirecto, con las condiciones que se mencionaron anteriormente.

Sistema Indirecto.

Figura 21.

Planos del deshidratador





Nota. Autoría propia

Análisis y Selección de materiales.

La selección adecuada de materiales para los componentes del sistema deshidratador es esencial para lograr resultados óptimos en el funcionamiento del equipo y en su fabricación, contribuyendo así a la reducción de costos. Al diseñar el sistema, se deben considerar aspectos como la cantidad de radiación solar disponible para calentar las matrices, la densidad del aire en la ciudad de Bogotá y su humedad relativa.

Colector Solar de Aire

- 1. Cubierta transparente:** Cumple varias funciones cruciales. En primer lugar, permite que la radiación solar entre al tiempo que reduce las pérdidas de calor por radiación y convección hacia el entorno, contribuyendo a crear un efecto invernadero. El vidrio se elige como material para la cubierta debido a su óptima transmisión y baja reflectancia, asegurando que la radiación se dirija hacia la placa de plástico alveolar.
- 2. Protector de vidrio:** Para proteger el vidrio cuando el sistema no está en uso, se utilizará un sistema de persianas con una tela de poliéster termoplástico resistente a la humedad en el exterior. Este material proporciona una protección efectiva contra daños físicos y suciedad, asegurando la durabilidad del vidrio.
- 3. Placa de absorción:** Fabricada con policarbonato, esta placa tiene la función de captar la radiación solar y transformarla en energía térmica. El policarbonato alveolar, por su composición y forma geométrica, ofrece una distribución uniforme del flujo de aire caliente, incrementando el área de absorción. Además, el policarbonato, como

termoplástico resistente al impacto y al calor, permite el paso de la luz de manera eficiente.

4. **Carcasa del colector:** Se utilizarán láminas de policarbonato para la carcasa exterior del colector, garantizando una excelente resistencia a altas temperaturas y productos químicos, así como una notable resistencia al impacto, según lo respaldado por Guerrero, C., Lozano, T., González, V., & Arroyo, E. (2003).

Cámara de Secado

1. **Carcasa externa:** Al igual que en el colector, se utilizará policarbonato para la carcasa externa de la cámara de secado debido a sus propiedades robustas y resistentes a condiciones climáticas adversas.

2. **Puerta para controlar el aire:** Dada su exposición a cambios de temperatura y humedad, la puerta requiere un material altamente resistente a la corrosión y fácil de limpiar. El acero inoxidable cumple con estos requisitos, proporcionando una superficie lisa y resistente a variaciones térmicas.

3. **Bandejas:** Las bandejas, en contacto directo con los alimentos durante el proceso de deshidratación, se fabricarán con acero inoxidable perforado. Este material, comúnmente utilizado en la industria alimentaria, garantiza resistencia a la corrosión, una superficie lisa y no contaminante.

4. **Protector:** En contacto directo con el medio ambiente, se utilizará una capa de espuma de celda cerrada unida entre dos capas de película de poliéster de aluminio altamente reflectante. Este material ofrece resistencia a la humedad, inhibe la condensación y evita el crecimiento de hongos o moho, proporcionando durabilidad y seguridad.

En conjunto, esta selección meticulosa de materiales, respaldada por un análisis profundo, asegura que cada componente del sistema deshidratador cumpla con los requisitos funcionales y medioambientales, garantizando así la eficiencia y el rendimiento óptimo en diversas condiciones.

5. Validar teóricamente las condiciones de operación y funcionamiento del sistema de deshidratación por secado convectivo a partir de radiación solar y su aplicación en el procesamiento de matrices vegetales.

Cálculos teóricos del diseño

Se realizaron cálculos teóricos para establecer la temperatura que podría alcanzar el flujo de aire dentro de la cámara de secado. Los cálculos son efectuados con la ecuación de balance de energía.

$$Q = mCp(Ts - Te)$$

Es necesario despejar la fórmula para obtener el resultado teórico de la temperatura promedio que estará en la cámara de secado en el momento de implementar el sistema de deshidratación.

$$Ts = \frac{Q}{mCp} + Te$$

$$m = 0.06 \text{ m}^2 * 1.71 \text{ m/s} * 0.9028 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 0.092627 \text{ kg/s}$$

$$Q = 4000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 0.9527 \text{ m}^2 = 3810.8 \text{ W}$$

Tabla 24.

Valores para aplicar fórmula de balance de energía

Abreviatura	Valor	Unidades
Q	3810	W
m	0.092627	kg/s
Cp	1006	J/Kg K
Te	288.13	K
Ts	x	K

Nota. Autoría propia

Tabla 25.

Temperatura promedio en Bogotá

Abreviatura	Valor	Unidad
Te1	280.15	K
Te2	288.13	K
Te3	292.15	K

Nota. Temperaturas promedio en la ciudad de Bogotá Fuente.

$$Ts = \frac{Q}{m \cdot Cp} + Te1$$

$$Ts = \frac{3810.8 W}{0.09263 \text{ kg/s} * 1006 \text{ J/kg} * K} + 280.15 K$$

$$Ts = \frac{3810.8 W}{0.09263 \text{ kg/s} * 1006 (\text{kg} * \text{m}^2/\text{s}^2)/\text{kg} * K} + 280.15 K$$

$$Ts = 40.877 K + 280.15 K$$

$$Ts = 321.037 K$$

$$Ts = \frac{Q}{m * Cp} + Te2$$

$$Ts = \frac{3810.8 W}{0.09263 \text{ kg/s} * 1006 \text{ J/kg} * K} + 288.13 K$$

$$Ts = \frac{3810.8 W}{0.09263 \text{ kg/s} * 1006 (\text{kg} * \text{m}^2/\text{s}^2)/\text{kg} * K} + 288.13 K$$

$$Ts = 40.877 K + 288.13 K$$

$$T_s = 329.017 K$$

$$T_s = \frac{Q}{m \cdot c_p} + T_{e3}$$

$$T_s = \frac{3810.8 W}{0.09263 \text{ kg/s} * 1006 \text{ J/kg} * K} + 292.15 K$$

$$T_s = \frac{3810.8 W}{0.09263 \text{ kg/s} * 1006 (\text{kg} * \text{m}^2/\text{s}^2)/\text{kg} * K} + 292.15 K$$

$$T_s = 40.877 K + 292.15 K$$

$$T_s = 332.037 K$$

Tabla 26.

Temperaturas promedio en el sistema de deshidratación solar

Abreviatura	Valor	Unidad
Ts1	321.037	K
Ts2	329.017	K
Ts3	322.037	K

Nota. Valores de las temperaturas en Kelvin

Tasa de producción para el tomate

El deshidratador cuenta con unas bandejas de 65*45 cm y en las pruebas anteriormente realizadas se usaron bandejas de 18*25cm en las que se logró distribuir 184,2 g. Los siguientes cálculos se hicieron para poder conocer cuál es la tasa de producción del tomate en un día laboral de 8 horas (480 min) considerando que deshidratar toma un tiempo

aproximadamente de 7,5 horas (450 min). En este caso se nombrará la bandeja de las pruebas como X y la bandeja final como Y.

$$\text{Área bandeja X} = 18 \text{ cm} * 25 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área bandeja Y} = 65 \text{ cm} * 45 \text{ cm} = 2925 \text{ cm}^2$$

$$Z = \frac{184,2 \text{ g} * 2925 \text{ cm}^2}{450 \text{ cm}^2} = 1197,3 \text{ g}$$

La capacidad de la bandeja Y es de 1197,3 g y se cuenta con 3 bandejas por lo que la capacidad del deshidratador es de 3591,9 g de tomate fresco.

$$\text{Tasa de producción} = \frac{3591,9 \text{ g} * 480 \text{ min}}{450 \text{ min}} = 3831,36 \text{ g}$$

Entonces decimos que cada día laboral se podrán deshidratar 3831,36g.

Tasa de producción para la zanahoria

El deshidratador cuenta con unas bandejas de 65*45 cm y en las pruebas anteriormente realizadas se usaron bandejas de 18*25cm en las que se logró distribuir 137,9 g. Los siguientes cálculos se hicieron para poder conocer cuál es la tasa de producción del tomate en un día laboral de 8 horas (480 min) considerando que deshidratar toma un tiempo aproximadamente de 9,67 horas (580 min). En este caso se nombrará la bandeja de las pruebas como X y la bandeja final como Y.

$$\text{Área bandeja X} = 18 \text{ cm} * 25 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área bandeja Y} = 65 \text{ cm} * 45 \text{ cm} = 2925 \text{ cm}^2$$

$$Z = \frac{137,9 \text{ g} * 2925 \text{ cm}^2}{450 \text{ cm}^2} = 894,4 \text{ g}$$

La capacidad de la bandeja Y es de 894,4 g y se cuenta con 3 bandejas por lo que la capacidad del deshidratador es de 2683,2 g de zanahoria fresca.

$$\text{Tasa de producción} = \frac{2683,2 \text{ g} * 480 \text{ min}}{580 \text{ min}} = 2220,57 \text{ g}$$

Entonces decimos que cada día laboral se podrán deshidratar 2220,57 g.

Tasa de producción para el mango

El deshidratador tiene unas bandejas de 65*45 cm y en las pruebas realizadas se usaron bandejas de 18*25 cm en las que se distribuyó 137,9 g. Los siguientes cálculos se hicieron para conocer la tasa de producción del tomate en un día laboral de 8 horas (480 min) considerando que deshidratar toma un tiempo aproximadamente 9,67 horas (580 min). En este caso se nombrará la bandeja de las pruebas como X y la bandeja final como Y.

$$\text{Área bandeja X} = 18 \text{ cm} * 25 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área bandeja Y} = 65 \text{ cm} * 45 \text{ cm} = 2925 \text{ cm}^2$$

$$Z = \frac{116,8 \text{ g} * 2925 \text{ cm}^2}{450 \text{ cm}^2} = 759,2 \text{ g}$$

La capacidad de la bandeja Y es de 759,2 g y se cuenta con 3 bandejas por lo que la capacidad del deshidratador es de 2277,6 g de zanahoria fresca.

$$\text{Tasa de producción} = \frac{2277,6 \text{ g} * 480 \text{ min}}{800 \text{ min}} = 1366,56 \text{ g}$$

Entonces decimos que cada día laboral se podrán deshidratar 1366,56 g.

Tabla 27.

Tasa de producción del deshidratador

	Peso inicial(g)	Tiempo de secado(min)	Capacidad del secador(g)	Capacidad de secado por día laboral
Mango	116,8	800	2277,6	1366,56
Zanahoria	137,9	580	2683,2	2220,57
Tomate	184,2	450	3591,9	3831,36

Nota. Autoría propia

10. CONCLUSIONES

Conclusión Objetivo 1

Para la selección de las matrices vegetales a deshidratar se realizaron filtros consecutivos. A medida que se agregaban más criterios también se iba reduciendo el número de matrices posibles. En primer filtro se clasificaron aquellas que tienen la mayor producción. Luego se tuvo en cuenta las características fisicoquímicas y finalmente se añadió el criterio exportaciones, seleccionando la zanahoria, el tomate y el mango. En otras palabras, cada una de las matrices escogidas coinciden en tener una alta producción, bajos niveles de vitamina C, favorable relación humedad/estructura, abundante cantidad de pérdidas y una elevada exportación.

Por último, se llevó a cabo una toma de decisión utilizando jerarquización AHP, donde se compararon las tres matrices elegidas anteriormente y se identificó una mayor factibilidad para deshidratar el mango.

Conclusión Objetivo 2

Se llevó a cabo una rigurosa comparación de las matrices vegetales, específicamente el Mango, la Zanahoria y el Tomate, mediante una serie de experimentos que las sometieron a un proceso de deshidratación por convección forzada. Estos experimentos abarcaron un rango de temperaturas, desde 303.15 K (30°C) hasta 313.15 K (40°C). El objetivo de estos ensayos fue identificar y analizar las diversas características de cada matriz vegetal, evaluando su comportamiento ante las fluctuaciones térmicas.

Durante el proceso de deshidratación, se observó una disminución gradual de la humedad en todos los elementos. No obstante, se destacó de manera significativa que la zanahoria experimentó un proceso más lento de deshidratación en comparación con las otras dos matrices, mientras que el mango exhibió una pérdida de humedad notablemente más rápida. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para respaldar la decisión estratégica tomada en el objetivo 1, donde se asignó importancia a la deshidratación del mango, reconociendo su comportamiento particularmente eficiente en condiciones de temperatura específicas.

La información obtenida a través de estos experimentos ofrece una perspectiva valiosa sobre las respuestas variables de las matrices vegetales ante diferentes temperaturas. Este conocimiento resulta esencial para la selección y diseño del proceso de deshidratación, permitiendo una toma de decisiones informada y optimizando la eficiencia del sistema. En conclusión, estos resultados fortalecen la comprensión de los factores determinantes en la deshidratación de matrices vegetales y respaldan la planificación estratégica del proceso para obtener productos de calidad superior.

Conclusión Objetivo 3

El diseño se concibió con el objetivo de reducir la humedad de los alimentos a través de un método específico: la deshidratación mediante energía solar y flujo de aire caliente. Para lograr esto, se consideraron las condiciones del lugar donde se llevaría a cabo el proyecto, incluyendo factores como temperatura, flujo de aire, altitud y humedad relativa. Estos elementos influyeron en la selección de los materiales para el prototipo.

De acuerdo con las condiciones del sitio, se determinó la necesidad de utilizar materiales termoestables para conferir resistencia al sistema frente a la radiación solar. Asimismo, se optó por materiales que faciliten el aumento de la temperatura dentro de la cámara del sistema y que sean capaces de soportar el peso total de la estructura. Este enfoque garantiza la eficiencia y durabilidad del sistema, considerando todas las variables ambientales relevantes.

Conclusión Objetivo 4

En conclusión, el diseño del sistema deshidratador se ha concebido como un enfoque indirecto, considerando cuidadosamente las condiciones ambientales y geográficas del lugar de implementación. La meticulosa selección de materiales, respaldada por un análisis detallado, asegura la eficiencia y durabilidad del sistema en diversas condiciones climáticas.

En el colector solar de aire, la utilización de materiales como el vidrio para la cubierta transparente, el policarbonato para la placa de absorción y la carcasa del colector, junto con el acero inoxidable para la puerta de control del aire, garantiza resistencia a las condiciones adversas y durabilidad. Además, el sistema de persianas con tela de poliéster termoplástico protege el vidrio cuando no está en uso, asegurando su integridad.

En la cámara de secado, la elección de policarbonato para la carcasa externa y acero inoxidable para la puerta y las bandejas, junto con una capa de espuma de celda cerrada y película de poliéster de aluminio para el protector, demuestra una atención cuidadosa a la resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y durabilidad.

Conclusión Objetivo 5

La validación teórica del prototipo proporcionó información crucial para ajustar los parámetros clave del sistema de deshidratación, como la temperatura del aire, la velocidad del aire y la configuración del equipo. Los cálculos se basaron en la ecuación de balance de energía $Q = mC_p (T_s - T_e)$, donde T_s es la temperatura en la cámara de secado y T_e es la temperatura ambiente.

Se determinó que el flujo de aire (m) es de 0.092627 kg/s, con una potencia de radiación solar incidente (Q) de 3810.8 W. Aplicando la fórmula de balance de energía, se obtuvieron las temperaturas promedio en la cámara de secado (T_s) para tres condiciones ambientales diferentes, siendo $T_{s1}=321.037$ K, $T_{s2}=329.017$ K y $T_{s3}=322.037$ K.

Estas temperaturas fueron fundamentales para entender el comportamiento térmico del sistema en diversas situaciones climáticas, demostrando su capacidad para mantener condiciones adecuadas de deshidratación.

Al evaluar la tasa de producción del deshidratador para distintos alimentos, se consideraron las áreas de las bandejas, el tiempo de secado y la capacidad total del secador. Para el tomate, zanahoria y mango, se calcularon tasas de producción de 3831.36 g, 2220.57 g y 1366.56 g, respectivamente, durante un día laboral de 8 horas.

Estos resultados resaltan la eficiencia del deshidratador, mostrando su capacidad para procesar grandes cantidades de alimentos de manera efectiva, respaldada por la validación teórica de sus parámetros clave y su capacidad de adaptarse a diversas condiciones ambientales.

Conclusión General

En conclusión, el desarrollo del sistema deshidratador se ha caracterizado por un enfoque holístico y meticuloso, abordando cada uno de los objetivos establecidos con precisión y eficacia. La selección de las matrices vegetales, guiada por criterios específicos y el

análisis jerárquico AHP, condujo a la elección estratégica del mango como la opción más factible, respaldada por su alta producción y eficiencia en el proceso de deshidratación.

Los experimentos detallados y la comparación entre matrices vegetales, como mango, zanahoria y tomate, proporcionaron información esencial sobre sus respuestas a las variaciones térmicas, destacando la eficacia del mango en la pérdida de humedad. Estos resultados no solo validan la elección estratégica realizada, sino que también ofrecen conocimientos cruciales para optimizar futuros procesos de deshidratación.

En términos del diseño del sistema, la cuidadosa selección de materiales, respaldada por análisis profundos de condiciones ambientales, garantiza la eficiencia y durabilidad del deshidratador. La utilización de tecnologías como la deshidratación solar y el flujo de aire caliente demuestra un compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia energética.

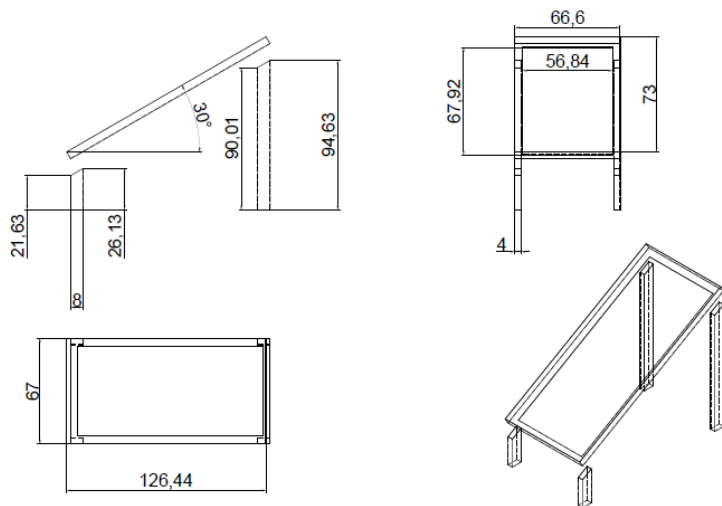
Además, la validación teórica del prototipo ha permitido ajustar parámetros clave, como la temperatura y el flujo de aire, para asegurar un funcionamiento óptimo en diversas condiciones climáticas. Las temperaturas obtenidas teóricamente en la cámara de secado respaldan la capacidad del sistema para mantener condiciones adecuadas de deshidratación.

En conjunto, este proyecto integra la selección estratégica de matrices, la experimentación detallada, el diseño cuidadoso del sistema y la validación teórica para ofrecer un deshidratador eficiente, sostenible y adaptable a diversas condiciones ambientales. Estos resultados no solo fortalecen la comprensión de los procesos de deshidratación de matrices vegetales, sino que también sientan las bases para futuras innovaciones en la producción de alimentos.

ANEXOS

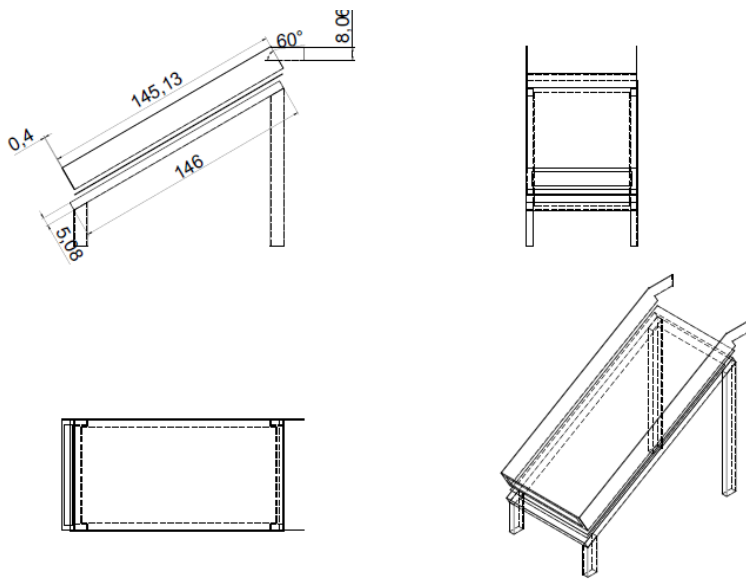
ANEXO 1

Diseño detallado parte 1



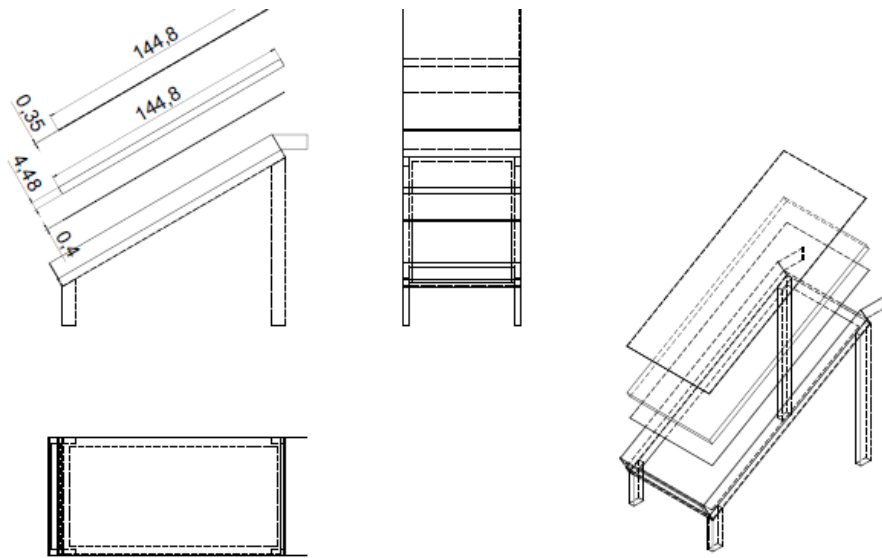
ANEXO 2

Diseño detallado parte 2



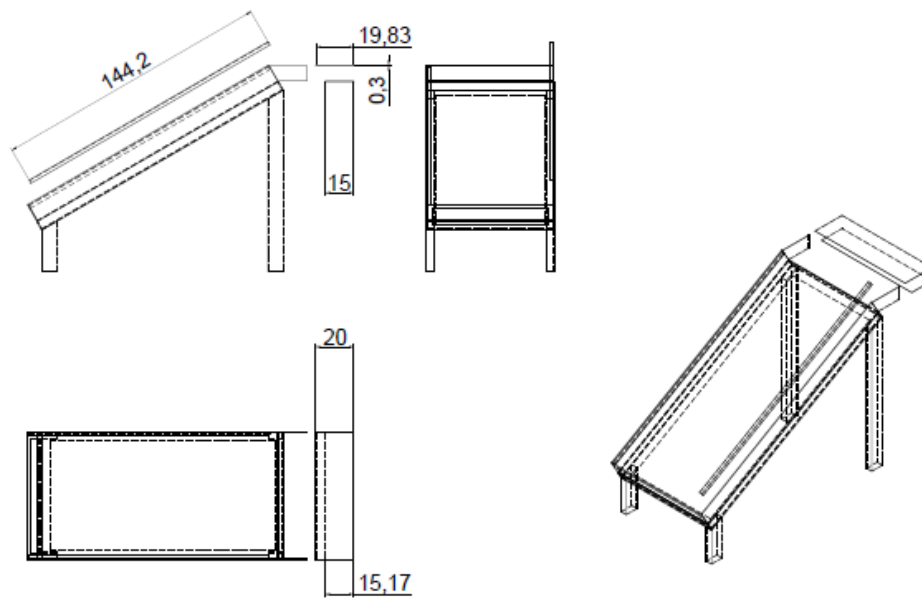
ANEXO 3

Diseño detallado parte 3



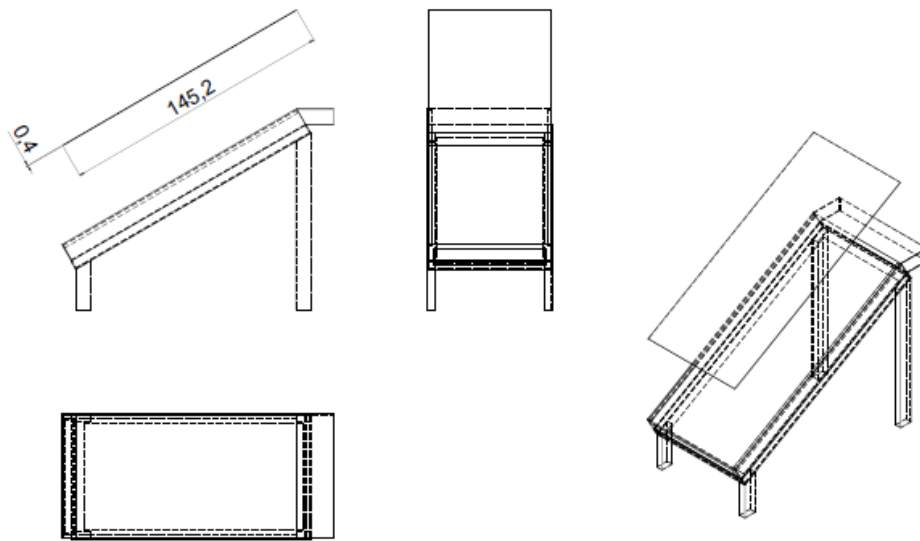
ANEXO 4

Diseño detallado parte 4



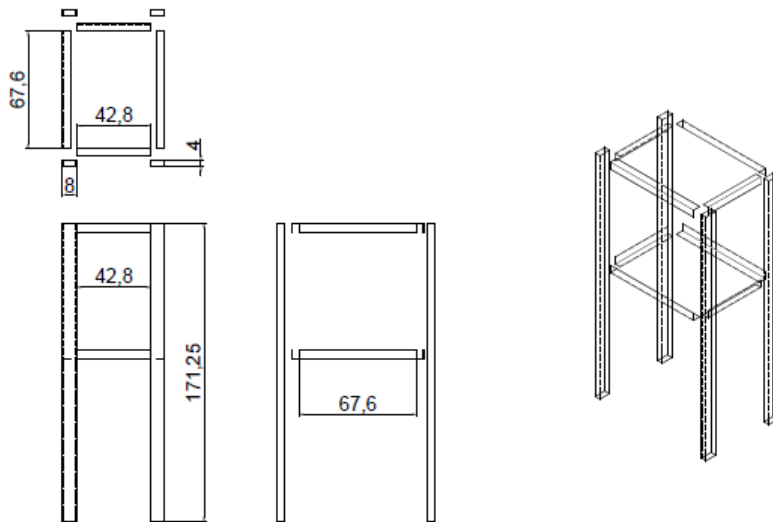
ANEXO 5

Diseño detallado parte 5



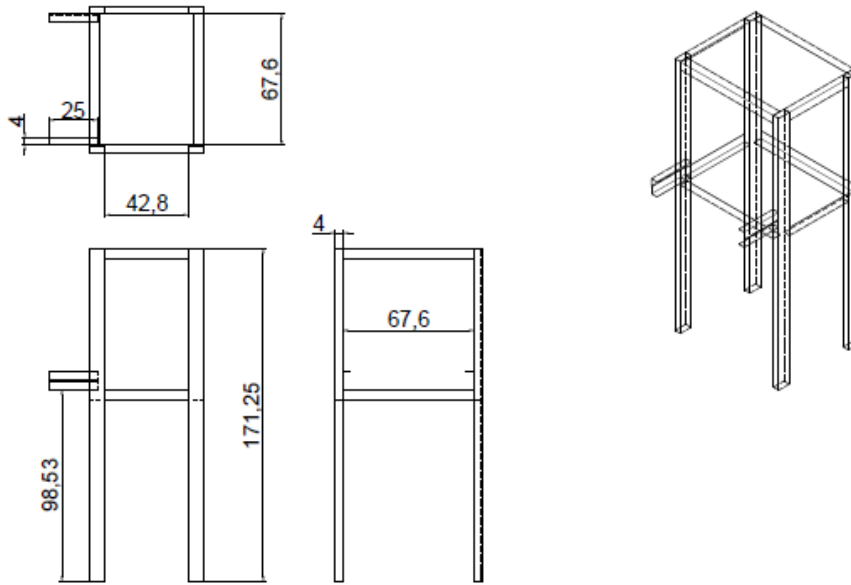
ANEXO 6

Diseño detallado parte 6



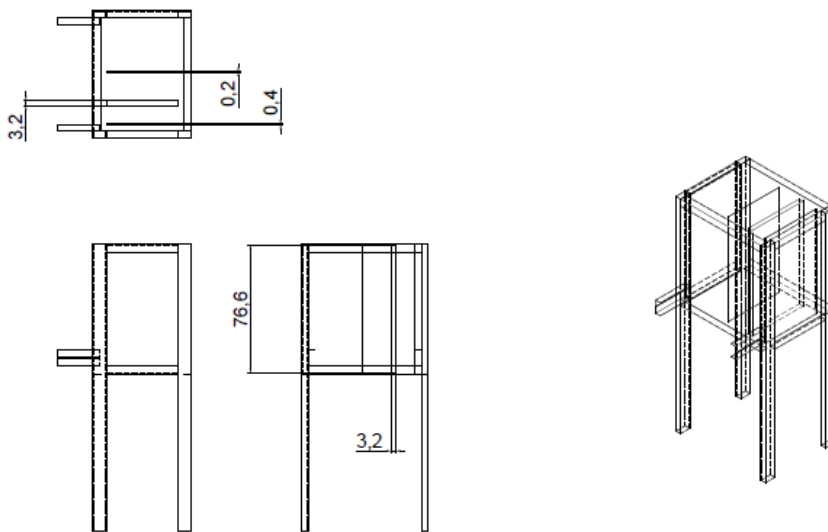
ANEXO 7

Diseño detallado parte 7



ANEXO 8

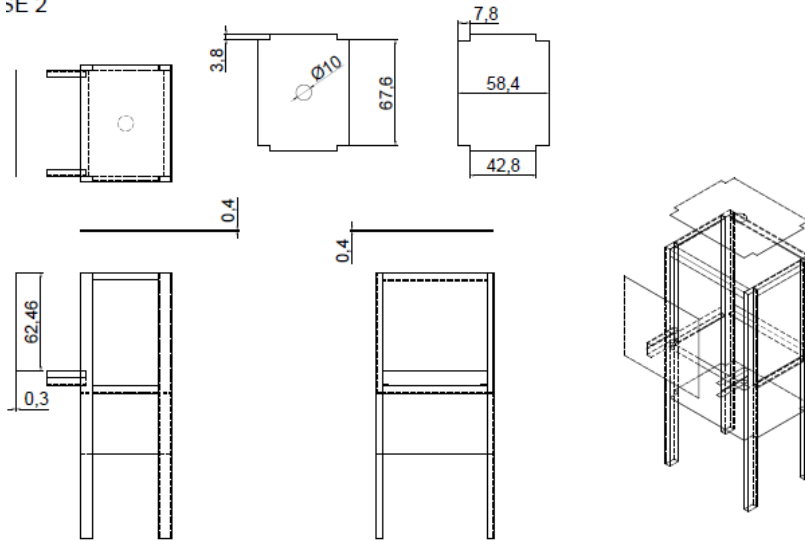
Diseño detallado parte 8



ANEXO 9

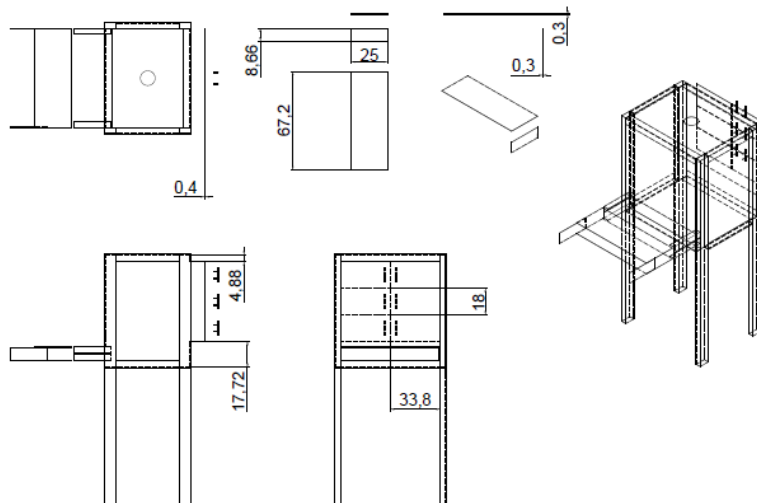
Diseño detallado parte 9

SE 2



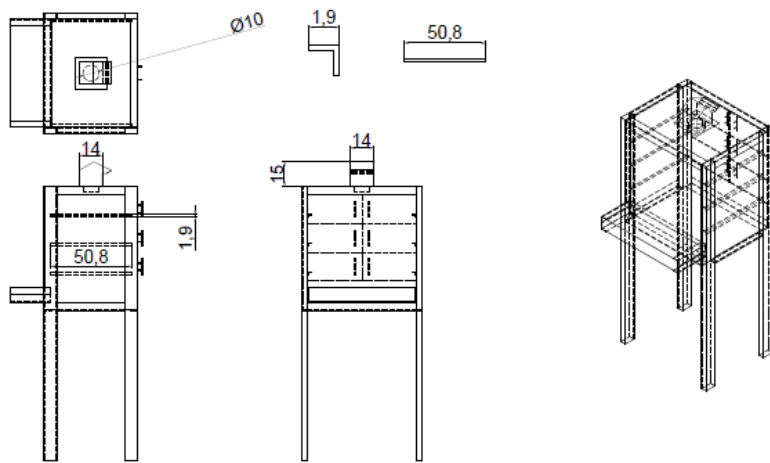
ANEXO 10

Diseño detallado parte 10



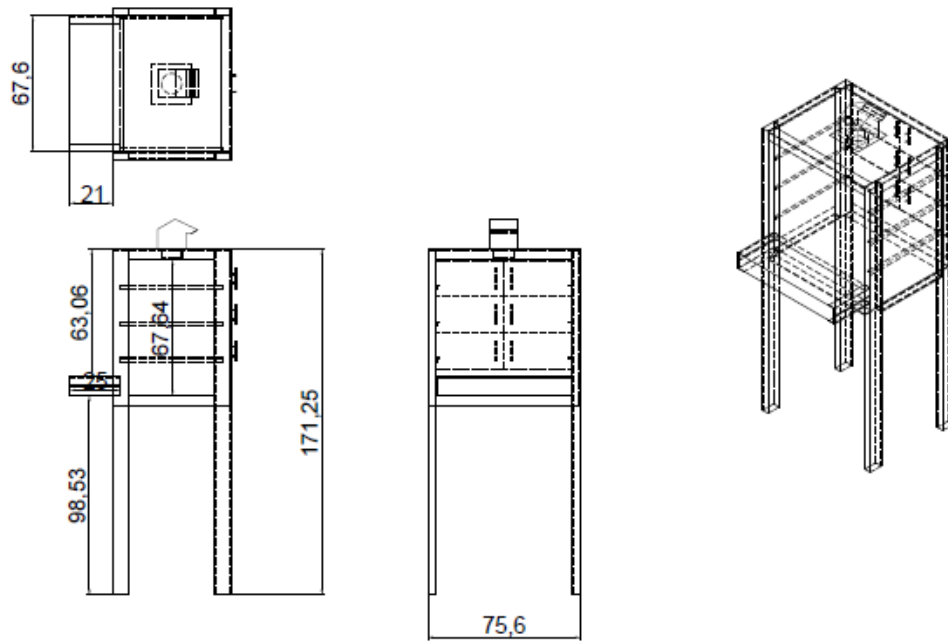
ANEXO 11

Diseño detallado parte 11



ANEXO 12

Diseño detallado parte 12



ANEXO 13



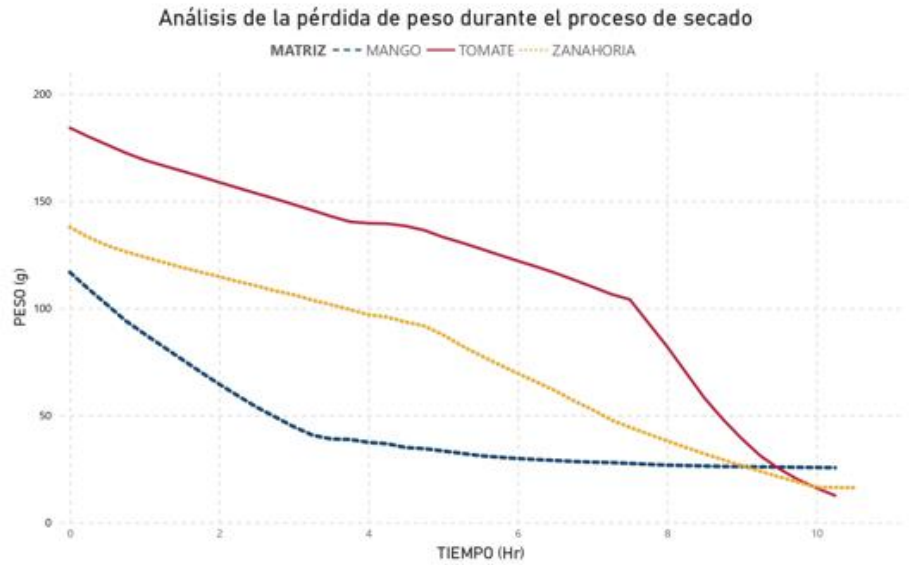
Estudio cinético del comportamiento de matrices vegetales durante el proceso de secado por convección forzada

- MANGO
- TOMATE
- ZANAHORIA

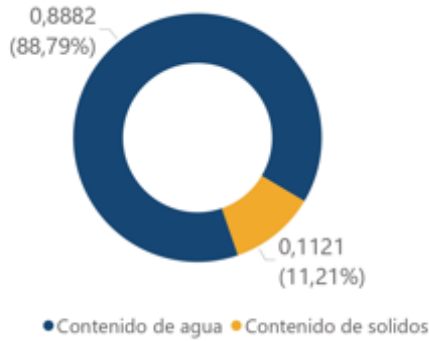
PESO INICAL
184,20

PESO FINAL
12,60

DURACIÓN TOTAL
10,50



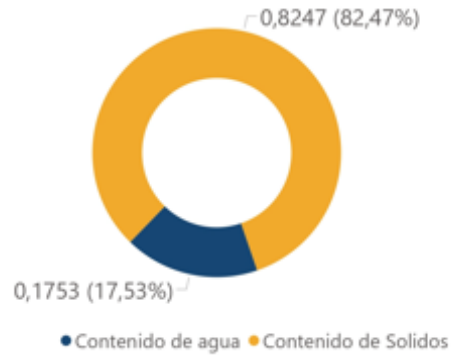
Composición en la Matriz Antes del Proceso de Secado



PERDIDA DE MASA

128,6

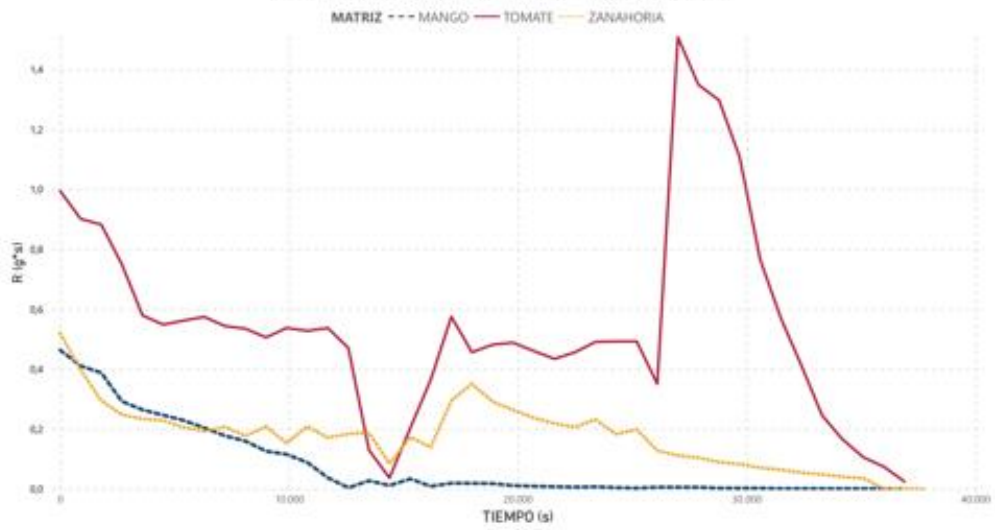
Composición en la Matriz Después del Proceso de Secado



TOTAL DESHIDRATADO

93,16 %

Análisis de velocidad durante el proceso de secado



VELOCIDAD MAXIMA



DURACIÓN TOTAL

10,50

VELOCIDAD PROMEDIO



BIBLIOGRAFÍA

- Secado de granos y secadoras - Energia y combustion.* (n.d.).
<https://www.fao.org/3/x5028s/x5028s03.htm>
- Lopez H, J. H. (2000). *Proyecto fortalecimiento y capacitación técnico empresarial para cuatro microempresas agroindustriales del municipio de granada. Manejo Poscosecha de Frutas y Hortalizas*, 86.
- Delia Paola Urfalino, & Andrés Quiroga. (2011). *Almacenaje de frutas y hortalizas deshidratadas.* https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-almacenamiento_de_frutas_y_hortalizas_deshidratadas.pdf
- Sanmartin Beleño, G y Buj Alcalá, J. (2017). *Diseño de un equipo para deshidratación de tomates, a escala de laboratorio, mediante aprovechamiento de energía solar y energía eléctrica.*
- Nabnean, S., & Nimnuan, P. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100787.
<https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2020.100787>
- Guamán Rocha, C. E., Zurita, T., & Edmundo, M. (2021). *Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas.*
- S. Gaviria, L.Mejia, M.Castro, E.Gómez, F. C. (2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia. Departamento Nacional de Planeación*, 39, 116.
- Costa, A. R. S., & Ferreira, S. R. (2007). *Drying solar system for tropical fruits | Sistema de secado solar para frutos tropicales. Información Tecnológica*, 18(5), 49–58.
- ONU. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. In Publicación de las Naciones Unidas.*
- Rančić, D., Quarrie, S. P., & Pećinar, I. (2010). *Anatomy of tomato fruit and fruit pedicel during fruit development. Microscopy: Science, Technology, Applications and*

Education, 7750160, 851–861.

- Ávila, P. (2015). Manual Zanahoria. *Cámara de Comercio de Bogotá*, 1, 1–50. <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Okino-Delgado, C. H., Prado, D. Z., Pereira, M. S., Camargo, D. A., Koike, M. A., & Fleuri, L. F. (2020). Mango. In *Valorization of Fruit Processing By-products* (Vol. 2016). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00008-3>
- Zwinkels, J. (2015). Light, electromagnetic spectrum. *Encyclopedia of Color Science and Technology*, 8071, 1-8.
- Toskano Hurtado, G. B. (2005). Capítulo III El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). *Tesis Digitales UNMSM*, 100. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf%0Ahttp://www.jstor.org/stable/978380?origin=crossref
- Noale, H. N. (2016). *Tomate para industria: revisión bibliográfica y selección de variedades en el valle medio de río negro*.
- Branthôme, F., X. (2021, 5 octubre). Tunisia: the sector promotes dried tomatoes - Tomato News. Tomato News. https://www.tomatonews.com/en/tunisia-the-sector-promotes-dried-tomatoes_2_1341.html
- Desiderio, L. (2019, 5 junio). Philippines' largest dried fruit producer to put up 2nd factory in Cambodia. Philstar.com. <https://www.philstar.com/business/2019/06/06/1923902/philippines-largest-dried-fruit-producer-put-2nd-factory-cambodia>
- Gherardi, I. (2016). Cibus TEC: L'italia e la produzione di pomodoro (ed un gráfico spiega i produttori di pomodoro nel mondo). GDO News. <https://www.gdonews.it/2016/11/02/cibus-tec-litalia-e-la-produzione-di-pomodoro-ed-un-grafico-spiega-i-produttori-di-pomodoro-nel-mondo/>
- Miranda, M. A. (2023). Mango Market Situation in the United States and Latin America. ProducePay - Empowering Growers from Seed to Sale. <https://producepay.com/blog/articles/mango->

market-situation-in-the-united-states-and-latin-america/

Pierre, G. (2016, 3 noviembre). Dried mango. <https://www.fruitrop.com/en/Articles-by-subject/Economic-analyses/2016/Dried-mango>

ProducePay. (2023, 25 mayo). Tomato Production in México and How it Affects US Demand | Blog. ProducePay - Empowering Growers from Seed to Sale. <https://producepay.com/resources/tomato-production-in-mexico-and-how-it-affects-us-demand/>

The European market potential for dried mango | CBI. (2023, 14 marzo). <https://www.cbi.eu/market-information/processed-fruit-vegetables-edible-nuts/dried-mango/market-potential>

S.Gaviria, L.Mejia, M.Castro, E.Gómez, F. C. (2016). *Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia. Departamento Nacional de Planeación, 39, 116.*

Velásquez, J. T. (2022, 15 diciembre). *Aproximadamente 23% de las frutas y hortalizas se pierden entre la cosecha y la venta. <https://www.agronegocios.co/agricultura/aproximadamente-23-de-las-frutas-y-hortalizas-se-pierden-entre-la-cosecha-y-la-venta-3509534>*

IDEAM. (s. f.). *VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL - IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/variacion-espacio-temporal1>*

Dordoni, R. (2013, 11 febrero). *Is freeze-drying really expensive? - Italian Food Tech. Italian Food Tech. <https://www.italianfoodtech.com/is-freeze-drying-really-expensive/>*

Procolombia. (2021). *Cadena de agroalimentos 2021. [https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2021-08/ANEXO_1_MINCOMERCIO - Productos_potencial_exportador_agroindustrial_Colombia.pdf](https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2021-08/ANEXO_1_MINCOMERCIO_Productos_potencial_exportador_agroindustrial_Colombia.pdf)*

SAC. (2021, septiembre). *Así es la hortofruticultura nacional. SAC - Sociedad de Agricultores de Colombia. <https://sac.org.co/asi-es-la-hortofruticultura-nacional/>*

DANE Colombia. (6 de junio de 2021). #DANElecuenta | *En 2019 se produjeron 3.051.481 toneladas de verduras, legumbres y hortalizas en Colombia. El cultivo de tomate fue el de mayor contribución, pues representa el 18,2% del total de la producción de este tipo de alimentos durante ese año. [Tweet] [Imagen adjunta]. Twitter. https://twitter.com/DANE_Colombia/status/1346855707208019968*

- DANE Colombia. (6 de junio de 2021). #DANElecuenta | En 2019 se reportaron 505.164 hectáreas plantadas de cultivos frutales en Colombia. El cultivo de banano ocupó el 22 % del área plantada y el 43,4 % de las toneladas de frutas producidas en el país. [Tweet] [Imagen adjunta]. Twitter. https://twitter.com/DANE_Colombia/status/1346855712375398401
- Colmenares, R. B. R., Colmenares, C. L. R., & Figueroa, I. P. (2019). Estudio experimental de la deshidratación de tomate verde (*Pysalis ixocarpa* brot) utilizando un secador solar de tipo directo. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 17(1), 76-86.
- Weiss, W., & Buchinger, J. (2005). Establishment of a production, sales and consulting infrastructure for solar thermal plants in Zimbabwe. *Institute for Sustainable Technologies*, 110. <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien553.pdf>
- Perelló, D., & Fasulo, A. (2001). Comparación de las transmitancias de policarbonatos y vidrio. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5.
- Barral, J. R., Morichetti, G., Galimberti, P., & Fasulo, A. (2001). Evaluación de la energía solar absorbida por un colector acumulador integrado monotanque con cubiertas de policarbonato alveolar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5.
- Gironès, A., Mateo, A., Lianes, L., & Anglada, M. (2001). Influencia de la temperatura en las propiedades a tracción de un acero inoxidable superdúplex. *Revista de metalurgia*, 37(2), 150-154.
- Paredes Salinas, J. G., Pérez Salinas, C. F., & Castro Miniguano, C. B. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 8(3), 1-15.
- H. Váquiro. “Contribución al estudio y optimización del secado intermitente: aplicación al secado de mango”. Tesis doctoral, Badajoz: Universidad de Extremadura, España. 2019.
- Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.24 no.Especial Arica ago. 2018
- F. Rodríguez. Ingeniería de la industria alimentaria (III). Conservación de alimentos por reducción de su actividad de agua. Secado. Capítulo 5, 2020.
- Moyano Arévalo, J. R., Naranjo Vargas, E. M., Contreras Vásquez, L. F., & Santillán Mariño, C. J. (2021). Simulation of a natural thermal insulator application in an indirect solar dehydrator. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 1–12. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.620.11>

- Rodríguez Mercado, O. A. (2020). Diseño conceptual de un deshidratador solar por convección natural para el secado de frutas en el departamento de Antioquia.
- Guillén Álvarez, M. A. (2019). Diseño, construcción y evaluación de un deshidratador solar para tomate.
- Ayala Navas, P. D. (2021). *Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto para frutas en Quito* (Bachelor's thesis, Quito, 2021)
- Krabch, H., Tadili, R., & Idrissi, A. (2022). Design, realization and comparison of three passive solar dryers. Orange drying application for the Rabat site (Morocco). *Results in Engineering*, 15, 100532. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2022.100532>
- Nabnean, S., & Nimmuan, P. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100787. <https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2020.100787>
- Dufera, L. T., Hofacker, W., Esper, A., & Hensel, O. (2021). Physicochemical quality of twin layer solar tunnel dried tomato slices. *Heliyon*, 7(5), e07127. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07127>
- Rocha, G., Eduardo, C., Tapia Zurita, I., & Edmundo, M. (2021). *Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas*.
- Toskano, H., & Bruno, G. (2005). Capítulo III El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). *Tesis Digitales UNMSM*, 100. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf%0Ahttp://www.jstor.org/stable/978380?origin=crossref
- Galvis, J. A., & Herrera, A. (2015). El Mango manejo postcosecha. *Sena*, 1–71. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/5509/1/mango_mangiferia_manejo_postcosecha.PDF
- Bécquer Frauberth, Camayo Lapa, Leonardo Ederson, Pablo Camargo, Torres, Eguavil Tony, Massipe Hernández, Juan Raúl, & Quispe Flores, Marcos. (2020). Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 248-254. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200248>

- Nantes, E. A. (2019). El Método Analytic Hierarchy Process Para La Toma De Decisiones. Repaso De La Metodología Y Aplicaciones. *Investigacion Operativa - Año Xvii*, 54–73.
- Saavedra, G., Jana Ayala, C., & Kehr Mellado, E. (2019). Hortalizas para Procesamiento Agroindustrial. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*, 411, 121–181. http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/29326/Boletin_INIA_411.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Harrison, J. A., & Andress, E. L. (2000). Preserving Food: Drying Fruits and Vegetables. *Preserving Food: Drying Fruits and Vegetables*, 1–12. http://nchfp.uga.edu/publications/uga/uga_dry_fruit.pdf
- López Suárez, P. (2023). La deshidratación solar de alimentos, alternativa viable y sustentable. *Gaceta UNAM*. <https://www.gaceta.unam.mx/la-deshidratacion-solar-de-alimentos-alternativa-viable-y-sustentable/>
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. MCGRAW-HILL.
- Carrasco, D. I. C., Ayala, D. J. B., Álvarez, L. F. A., & Miranda, M. F. (2020). Sostenibilidad medio ambiental en el procesamiento de frutas deshidratadas ecuatorianas. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 4(35), 1-15.