

**Diseño y construcción de un secador solar de bajo costo para productos agrícolas en la  
región de los Montes de María**

Wilson Alexander Hernández Canizales

Asesor

Alfonso De Jesús Anaya Barbosa

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería Industrial

2026

## Resumen

El objetivo de este proyecto era diseñar y construir un secador solar de bajo coste para productos agrícolas en la región de los Montes de María, concretamente en el municipio de Carmen de Bolívar. La iniciativa surge de la necesidad de reducir las pérdidas poscosecha asociadas a los métodos tradicionales de secado al aire libre, que exponen los productos a la contaminación, a las variaciones climáticas y al deterioro de la calidad.

El prototipo construido corresponde a un secador solar tipo túnel con ventilación natural, que mide 6 metros de largo, 3,5 metros de ancho y 2,7 metros de alto. Su estructura se construyó con acero galvanizado y se cubrió con plástico agrícola con protección UV. El sistema utiliza el efecto invernadero y la convección natural para aumentar la temperatura interna sin requerir energía eléctrica.

El costo estimado de los materiales fue de aproximadamente 3 000 000 de pesos colombianos, lo que lo convierte en una alternativa viable para los pequeños productores rurales. El proyecto demuestra la viabilidad técnica y económica de implementar tecnologías sostenibles adaptadas al contexto regional.

**Palabras clave:** secador solar, energía solar, deshidratación de alimentos, pérdidas poscosecha, Montes de María.

## Abstract

This project aimed to design and construct a low-cost solar dryer for agricultural products in the Montes de María region, specifically in the municipality of Carmen de Bolívar. The initiative arises from the need to reduce post-harvest losses associated with traditional open-air drying methods, which expose products to contamination, climate variations, and quality deterioration.

The constructed prototype corresponds to a tunnel-type solar dryer with natural ventilation, measuring 6 meters in length, 3.5 meters in width, and 2.7 meters in height. Its structure was built using galvanized steel and covered with UV-protected agricultural plastic. The system uses the greenhouse effect and natural convection to increase internal temperature without requiring electrical energy.

The estimated material cost was approximately COP \$3,000,000, making it a feasible alternative for small rural producers. The project demonstrates the technical and economic feasibility of implementing sustainable technologies adapted to the regional context.

**Keywords:** solar dryer, solar energy, food dehydration, post-harvest losses, Montes de María.

## Tabla de Contenido

Introducción.....	8
Justificación.....	10
Objetivos.....	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos .....	12
Planteamiento del Problema .....	13
Marco Teórico .....	15
El Secado como Método de Conservación .....	15
Pérdidas Postcosecha en Contextos Rurales.....	18
Secadores Solares Tipo Túnel .....	19
Marco Conceptual .....	21
Secado.....	21
Humedad.....	21
Convección Natural .....	22
Efecto Invernadero .....	22
Energía Renovable.....	22
Pérdidas Postcosecha.....	23
Prototipo .....	23
Marco contextual .....	24
Caracterización de la región de los Montes de María .....	24
Condiciones climáticas.....	24
Metodología.....	26

Alcance .....	27
Fases del Proyecto .....	27
Materiales utilizados.....	28
Procedimiento de construcción.....	29
Diseño técnico del secador .....	30
Justificación del Tipo de Diseños.....	30
Dimensiones del prototipo.....	30
Principio de Funcionamiento.....	31
Análisis del flujo de aire.....	31
Capacidad estimada .....	32
Ventajas del diseño implementado .....	32
Construcción del prototipo .....	33
Preparación del área de instalación .....	33
Instalación de la cubierta plástica.....	35
Instalación de bandejas internas .....	36
Verificación estructural y funcionamiento .....	37
Análisis económico del proyecto.....	39
Costo total estimado .....	39
Justificación del bajo costo.....	40
Relación costo–beneficio.....	40
Viabilidad económica para pequeños productores .....	41
Resultado y análisis del proyecto .....	42
Resultados obtenidos .....	42

Validación técnica del diseño .....	43
Ventajas identificadas.....	43
Limitaciones del sistema .....	44
Potencial de mejora .....	44
Impacto del proyecto .....	45
Impacto económico .....	45
Impacto social.....	45
Impacto ambiental .....	46
Aporte a la ingeniería industrial .....	46
Conclusiones.....	47
Recomendaciones .....	48
Referencias bibliográficas .....	49

## Lista de Figura

Figura 1 <i>Nivelación y trazado de terreno</i> .....	34
Figura 2 <i>Montaje de tubería galvanizada y bandejas de madera</i> .....	35
Figura 3 <i>Instalación de cubierta plástica</i> .....	36
Figura 4 <i>Instalación y pruebas de pesaje en bandejas plásticas</i> .....	37
Figura 5 <i>Terminación de secador solar de bajo costo</i> .....	38

## Introducción

La conservación de productos agrícolas constituye una etapa crítica dentro de la cadena productiva agroalimentaria, especialmente en contextos rurales donde las condiciones climáticas y la limitada infraestructura tecnológica incrementan las pérdidas postcosecha. En la región de los Montes de María, caracterizada por una importante actividad agrícola y condiciones ambientales variables, el secado tradicional a cielo abierto continúa siendo una práctica frecuente entre pequeños productores.

El secado es un proceso fundamental que permite reducir el contenido de humedad de los productos agrícolas hasta niveles seguros de almacenamiento, evitando la proliferación de microorganismos, la descomposición acelerada y la disminución de la calidad comercial. Sin embargo, cuando este proceso se realiza sin control técnico, los productos quedan expuestos a contaminación ambiental, lluvias inesperadas, polvo, insectos y variaciones bruscas de humedad relativa.

En este contexto, el aprovechamiento de la energía solar como fuente renovable representa una alternativa sostenible, económica y ambientalmente responsable. La implementación de tecnologías apropiadas, como los secadores solares de bajo costo, puede contribuir significativamente a la reducción de pérdidas postcosecha, al fortalecimiento de la economía rural y al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades agrícolas.

El presente proyecto aplicado tiene como propósito el diseño y construcción de un secador solar tipo túnel, con ventilación natural, adaptado a las condiciones climáticas de la región de los Montes de María. La propuesta se fundamenta en

principios de transferencia de calor, convección natural y eficiencia térmica, priorizando el uso de materiales disponibles en el mercado local y manteniendo un enfoque de bajo costo.

La construcción del prototipo constituye una solución técnica viable y replicable que puede ser implementada por pequeños productores sin necesidad de sistemas eléctricos o combustibles fósiles, promoviendo así un modelo productivo sostenible y autosuficiente.

## Justificación

La conservación de productos agrícolas constituye un aspecto fundamental dentro de los procesos de producción alimentaria, especialmente en zonas rurales donde las condiciones de almacenamiento y procesamiento son limitadas. Uno de los métodos más utilizados para prolongar la vida útil de los alimentos es el secado, proceso mediante el cual se reduce el contenido de humedad para evitar el deterioro y el crecimiento de microorganismos. Según Mujumdar (2014), el secado es una de las técnicas más antiguas y eficientes para la preservación de alimentos, permitiendo mantener sus propiedades y facilitar su almacenamiento y transporte.

En muchas regiones agrícolas, los productores continúan utilizando métodos tradicionales de secado al aire libre, lo cual expone los productos a contaminación ambiental, insectos, lluvias y variaciones climáticas que afectan la calidad del producto final. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2011), una parte significativa de las pérdidas poscosecha en los países en desarrollo se debe a la falta de tecnologías adecuadas para el manejo y conservación de los alimentos.

En este contexto, el uso de secadores solares representa una alternativa tecnológica sostenible y de bajo costo que permite mejorar los procesos de deshidratación de productos agrícolas. Estos sistemas aprovechan la energía solar disponible para generar condiciones controladas de temperatura y circulación de aire, lo cual mejora la eficiencia del secado y reduce los riesgos de contaminación. Según Kumar, Sansaniwal y Khatak (2016), los secadores solares constituyen una solución viable para pequeños

productores rurales, ya que permiten disminuir pérdidas poscosecha y mejorar la calidad de los productos deshidratados.

El presente proyecto se justifica en la necesidad de diseñar y construir un secador solar de bajo costo que pueda ser utilizado por pequeños productores agrícolas de la región de los Montes de María, específicamente en el municipio de Carmen de Bolívar. Esta propuesta busca aprovechar los recursos naturales disponibles, como la radiación solar, para desarrollar una tecnología accesible que contribuya a mejorar los procesos de conservación de productos agrícolas, reducir pérdidas económicas y fortalecer las prácticas de producción sostenible en el sector rural.

De esta manera, el desarrollo de este prototipo no solo aporta una solución técnica para el secado de alimentos, sino que también promueve el uso de energías renovables y tecnologías apropiadas que pueden ser replicadas en otras comunidades rurales con características similares.

## Objetivos

### Objetivo General

Diseñar y construir un secador solar de bajo costo para productos agrícolas en la región de los Montes de María, que permita reducir las pérdidas poscosecha y mejorar la calidad del producto final mediante el aprovechamiento de la temperatura solar.

### Objetivos Específicos

Analizar las condiciones climáticas y productivas de la región de los Montes de María para determinar la viabilidad del sistema de secado solar.

Seleccionar materiales disponibles en el mercado local que cumplan criterios de resistencia mecánica, conductividad térmica y bajo costo.

Diseñar estructuralmente un secador solar tipo túnel con ventilación natural por convección.

Construir el prototipo físico del sistema utilizando materiales accesibles y técnicas de ensamblaje replicables.

## Planteamiento del Problema

En la región de los Montes de María, los pequeños productores agrícolas enfrentan dificultades relacionadas con el manejo poscosecha de sus productos. Uno de los principales problemas identificados es el secado tradicional a cielo abierto, práctica que consiste en extender los productos sobre superficies expuestas directamente al ambiente para permitir la evaporación natural de la humedad.

Aunque este método no implica costos energéticos directos, presenta múltiples limitaciones técnicas y sanitarias. Entre ellas se encuentran la exposición a contaminantes ambientales, la presencia de insectos, la contaminación cruzada, la variabilidad en los tiempos de secado y la alta dependencia de condiciones climáticas favorables. Además, las lluvias inesperadas pueden deteriorar completamente la producción, generando pérdidas económicas significativas.

La ausencia de infraestructura tecnológica adecuada en zonas rurales limita el acceso a sistemas de secado más eficientes. Los secadores industriales disponibles en el mercado suelen presentar altos costos de adquisición e instalación, lo que los hace inaccesibles para pequeños productores. Esta situación perpetúa prácticas tradicionales que reducen la competitividad y calidad del producto final.

Desde una perspectiva económica y social, las pérdidas poscosecha impactan directamente los ingresos familiares, afectan la estabilidad productiva y disminuyen la capacidad de comercialización en mercados formales. Asimismo, la falta de alternativas tecnológicas sostenibles impide el aprovechamiento eficiente de recursos naturales como la radiación solar, abundante en la región Caribe colombiana.

En consecuencia, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar y construir un secador solar de bajo costo que permita reducir las pérdidas poscosecha y mejorar la calidad de los productos agrícolas en la región de los Montes de María.

## Marco Teórico

### El Secado como Método de Conservación

El secado es uno de los métodos más antiguos y efectivos para la conservación de alimentos y productos agrícolas. Su principio fundamental consiste en la reducción del contenido de humedad hasta niveles que impidan el crecimiento de microorganismos y la ocurrencia de reacciones químicas que deterioren el producto. Al disminuir la actividad de agua, se prolonga la vida útil del alimento y se facilita su almacenamiento y transporte.

En el contexto agrícola, el secado cumple una función estratégica dentro de la cadena productiva, especialmente en regiones donde la comercialización depende de la estabilidad del producto durante periodos prolongados. Un producto con alto contenido de humedad es susceptible al desarrollo de hongos, bacterias y procesos de fermentación no controlada, lo que genera pérdidas económicas significativas.

El secado tradicional a cielo abierto, aunque ampliamente utilizado en zonas rurales, presenta limitaciones técnicas importantes. La exposición directa al ambiente incrementa el riesgo de contaminación por polvo, insectos y agentes externos. Asimismo, las variaciones climáticas afectan la uniformidad del proceso, generando inconsistencias en la calidad final del producto.

Por esta razón, el desarrollo de tecnologías de secado controlado, como los secadores solares, representa una alternativa intermedia entre los métodos artesanales y los sistemas industriales de alto costo.

## **Principios de Transferencia de Calor**

El funcionamiento de un secador solar se fundamenta en los principios de transferencia de calor, los cuales explican cómo la energía térmica se desplaza desde una fuente hacia un cuerpo o sustancia.

Existen tres mecanismos principales de transferencia de calor:

**Conducción:** ocurre cuando el calor se transmite a través de un material sólido debido a la diferencia de temperatura entre sus extremos.

En el secador solar, la estructura metálica y las bandejas pueden participar en este proceso.

**Convección:** se produce mediante el movimiento de un fluido (en este caso, aire) que transporta energía térmica. Este es el mecanismo predominante en el secador solar diseñado.

**Radiación:** corresponde a la transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas.

La radiación solar es la fuente principal de energía térmica del sistema.

En un secador solar tipo túnel, la radiación solar atraviesa la cubierta plástica transparente, calentando el aire interno y generando un incremento de temperatura. Este aire caliente, al disminuir su densidad, asciende y crea un flujo natural conocido como

efecto chimenea. Este fenómeno permite la circulación continua de aire sin necesidad de ventiladores eléctricos.

### Convección Natural y Efecto Chimenea

La convección natural es un proceso físico en el cual el movimiento del aire se produce debido a diferencias de temperatura y densidad, sin intervención de dispositivos mecánicos. Cuando el aire dentro del secador se calienta por acción de la radiación solar, se vuelve menos denso y tiende a ascender.

Este movimiento genera una corriente ascendente que es reemplazada por aire más frío proveniente del exterior. De esta manera, se establece un flujo continuo que favorece la extracción de humedad del producto agrícola.

El efecto chimenea es un fenómeno asociado a la convección natural y depende de factores como la altura del sistema, la diferencia de temperatura interna y externa, y el diseño de las entradas y salidas de aire. En el prototipo diseñado, la altura aproximada de 2,7 metros favorece este mecanismo, optimizando la circulación sin consumo energético adicional.

### Energía Solar como Recurso Renovable

La energía solar constituye una fuente renovable abundante en la región Caribe colombiana. La radiación solar incidente puede ser aprovechada para procesos térmicos como el calentamiento de aire en sistemas de secado.

El uso de energía solar en aplicaciones agrícolas ofrece múltiples ventajas:  
Reducción de costos operativos.

Disminución de emisiones contaminantes. Independencia de combustibles fósiles.

Accesibilidad en zonas rurales sin infraestructura eléctrica.

La implementación de tecnologías solares apropiadas contribuye al desarrollo

sostenible y fortalece la resiliencia productiva frente a variaciones económicas y energéticas.

### **Pérdidas Postcosecha en Contextos Rurales**

Las pérdidas poscosecha representan uno de los principales desafíos para la sostenibilidad del sector agrícola, especialmente en regiones rurales donde la infraestructura tecnológica es limitada. Estas pérdidas se producen en las etapas posteriores a la recolección y antes de la comercialización o consumo, afectando tanto la cantidad como la calidad del producto.

Entre los factores que influyen en las pérdidas poscosecha se encuentran:  
Contenido elevado de humedad.

Manipulación inadecuada. Almacenamiento deficiente.

Condiciones climáticas adversas. Ataque de microorganismos e insectos.

En regiones como los Montes de María, caracterizadas por altos niveles de humedad relativa y variabilidad climática, el secado tradicional a cielo abierto incrementa el riesgo de deterioro. La falta de control sobre el proceso provoca fermentaciones no deseadas, crecimiento de hongos y pérdida de propiedades organolépticas del producto.

Desde una perspectiva económica, las pérdidas poscosecha impactan directamente los ingresos de los pequeños productores, reduciendo su margen de ganancia y su competitividad en el mercado. Asimismo, estas pérdidas afectan la seguridad alimentaria y generan desperdicio de recursos productivos.

La implementación de tecnologías apropiadas de secado permite disminuir

significativamente estas pérdidas, mejorar la calidad del producto final y aumentar su valor comercial.

### **Secadores Solares Tipo Túnel**

Los secadores solares tipo túnel son estructuras cerradas diseñadas para aprovechar la radiación solar y generar un ambiente interno con temperatura elevada y circulación controlada de aire. Este tipo de diseño combina simplicidad constructiva con eficiencia térmica, lo que lo convierte en una opción adecuada para contextos rurales.

El principio de funcionamiento se basa en el efecto invernadero: la radiación solar atraviesa la cubierta transparente, generalmente fabricada en plástico agrícola con protección UV, y calienta el aire y las superficies internas. Parte de esta energía térmica queda atrapada en el interior, elevando la temperatura y favoreciendo la evaporación de la humedad contenida en los productos agrícolas.

Las principales características de un secador tipo túnel incluyen:

Estructura metálica o de madera.

Cubierta plástica transparente.

Bandejas o estanterías para distribuir el producto.

Entradas y salidas de aire estratégicamente ubicadas.

Altura suficiente para favorecer la convección natural.

En el prototipo desarrollado en el presente proyecto, se optó por una estructura en acero galvanizado debido a su resistencia mecánica y durabilidad. La cubierta se fabricó con plástico agrícola tipo agrolene con protección UV, el cual permite el paso

de la radiación solar y protege el sistema de las condiciones ambientales externas.

Las dimensiones del secador (6 metros de largo, 3,5 metros de ancho y 2,7 metros de altura) fueron definidas con el propósito de garantizar una capacidad adecuada de secado y optimizar el flujo de aire interno mediante convección natural.

Este tipo de diseño permite un equilibrio entre eficiencia térmica, bajo costo y facilidad de replicación, características fundamentales para su implementación en la región de los Montes de María.

## **Marco Conceptual**

El marco conceptual tiene como propósito definir con precisión los términos técnicos fundamentales que sustentan el presente proyecto aplicado, garantizando claridad terminológica y coherencia académica.

### **Secado**

El secado es un proceso físico mediante el cual se elimina parcial o totalmente el contenido de agua presente en un material, generalmente a través de la aplicación de energía térmica y circulación de aire. En el ámbito agrícola, el secado permite disminuir la actividad de agua en los productos, prolongando su vida útil y reduciendo el riesgo de deterioro microbiológico.

### **Humedad**

La humedad es la cantidad de agua contenida en un material o producto agrícola. Puede expresarse en base húmeda o base seca. Un contenido elevado de humedad favorece el crecimiento de hongos y bacterias, lo que compromete la calidad y seguridad del alimento. El objetivo del proceso de secado es reducir este porcentaje hasta niveles seguros de almacenamiento.

## **Convección Natural**

La convección natural es un mecanismo de transferencia de calor que ocurre debido a diferencias de densidad en un fluido causadas por variaciones de temperatura. En un secador solar, el aire caliente asciende y es reemplazado por aire más frío, generando un flujo continuo sin necesidad de dispositivos mecánicos.

### **Radiación Solar**

La radiación solar es la energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas. Esta energía puede ser aprovechada para generar calor cuando incide sobre superficies que absorben la radiación. En los secadores solares, la radiación es la fuente principal de energía térmica.

## **Efecto Invernadero**

El efecto invernadero es el fenómeno mediante el cual la radiación solar atraviesa una cubierta transparente, calienta el interior de una estructura y parte del calor queda atrapado, elevando la temperatura interna. Este principio es fundamental en el funcionamiento de los secadores solares tipo túnel.

## **Energía Renovable**

Se denomina energía renovable a aquella que proviene de fuentes naturales inagotables o que se regeneran de manera continua, como la energía solar. Su utilización contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la reducción de emisiones contaminantes.

## **Pérdidas Postcosecha**

Las pérdidas poscosecha son las disminuciones en cantidad o calidad de los productos agrícolas que ocurren después de la recolección y antes del consumo o comercialización. Estas pérdidas pueden deberse a factores físicos, biológicos o climáticos.

## **Prototipo**

Un prototipo es un modelo funcional construido con el fin de validar un diseño conceptual antes de su implementación a mayor escala. En este proyecto, el secador solar construido constituye el prototipo que demuestra la viabilidad técnica de la propuesta.

## **Marco Contextual**

### **Caracterización de la Región de los Montes de María**

La región de los Montes de María se encuentra ubicada en la zona Caribe de Colombia, comprendiendo territorios de los departamentos de Bolívar y Sucre. Esta región se caracteriza por una importante actividad agrícola, siendo una de las principales fuentes de sustento para la población rural.

En municipios como Carmen de Bolívar, la economía local depende en gran medida de la producción de cultivos como maíz, yuca, ñame, ajonjolí, cacao y frutas tropicales. Estos productos requieren procesos adecuados de manejo poscosecha para garantizar su conservación y comercialización.

La estructura productiva está conformada principalmente por pequeños y medianos productores, quienes en muchos casos carecen de infraestructura tecnológica avanzada para el procesamiento y almacenamiento de sus cosechas.

### **Condiciones Climáticas**

El clima de la región es predominantemente cálido, con temperaturas promedio que oscilan entre los 26°C y 32°C durante gran parte del año. Asimismo, se presentan niveles elevados de radiación solar, lo que convierte a la zona en un territorio con alto potencial para el aprovechamiento de energía solar en procesos térmicos.

Sin embargo, también se registran niveles significativos de humedad relativa y temporadas de lluvia que afectan el secado tradicional a cielo abierto. Estas condiciones

generan inestabilidad en los tiempos de deshidratación y aumentan el riesgo de deterioro del producto.

La combinación de alta radiación solar y humedad variable hace necesario implementar sistemas de secado que permitan un mayor control del proceso, protegiendo los productos de factores ambientales externos.

#### Justificación territorial del proyecto

El diseño y construcción de un secador solar de bajo costo en la región de los Montes de María responde directamente a las condiciones climáticas y productivas del territorio. La disponibilidad de radiación solar durante gran parte del año constituye una ventaja comparativa que puede ser aprovechada mediante tecnologías apropiadas.

Además, la necesidad de reducir pérdidas poscosecha y mejorar la calidad del producto final fortalece la pertinencia del proyecto. Al tratarse de un sistema que no requiere energía eléctrica ni combustibles fósiles, su implementación es viable incluso en zonas rurales con infraestructura limitada.

El prototipo desarrollado se adapta a las condiciones locales tanto en dimensiones como en selección de materiales, priorizando disponibilidad en el mercado regional y facilidad de mantenimiento.

## Metodología

El presente proyecto se desarrolló bajo un enfoque estructurado que permitió diseñar y construir el prototipo del secador solar de bajo costo, garantizando coherencia técnica y viabilidad práctica.

### Enfoque de investigación

El proyecto se enmarca en un enfoque cuantitativo con aplicación práctica. Aunque no se realizaron pruebas experimentales con mediciones numéricas en esta fase, el diseño del prototipo se fundamentó en principios técnicos medibles como dimensiones estructurales, selección de materiales y estimación de costos.

El enfoque cuantitativo se refleja en la planificación estructural del sistema, la determinación de medidas específicas y la estimación económica del proyecto.

### Tipo de proyecto

El trabajo corresponde a un proyecto aplicado, ya que no se limita al análisis teórico de una problemática, sino que propone una solución concreta materializada en la construcción física de un prototipo funcional.

Los proyectos aplicados buscan resolver situaciones reales mediante la implementación de soluciones técnicas viables. En este caso, se diseñó y construyó un secador solar adaptado a las condiciones de la región de los Montes de María.

## **Alcance**

El alcance del proyecto es descriptivo–propositivo.

Es descriptivo porque analiza la problemática del secado tradicional y las condiciones climáticas y productivas de la región.

Es propositivo porque plantea y ejecuta una alternativa tecnológica mediante la construcción de un sistema de secado solar de bajo costo.

El proyecto culmina con la construcción del prototipo y la formulación de un protocolo experimental para futuras evaluaciones de desempeño térmico.

## **Fases del Proyecto**

El desarrollo del proyecto se estructuró en las siguientes fases:

### **Fase 1: Diagnóstico y revisión bibliográfica**

Se realizó el análisis de la problemática asociada a las pérdidas poscosecha en la región y se revisaron fundamentos teóricos relacionados con secado solar, transferencia de calor y convección natural.

Fase 2: Diseño estructural del secador Se definieron las dimensiones del prototipo (6 m de largo, 3,5 m de ancho y 2,7 m de altura), considerando capacidad de secado y optimización del flujo de aire interno.

### Fase 3: Selección de materiales

Se seleccionaron materiales con base en criterios de:

Bajo costo Disponibilidad local Resistencia mecánica.

Conductividad térmica adecuada.

Durabilidad frente a condiciones ambientales

### Fase 4: Construcción del prototipo

Se procedió al ensamblaje de la estructura en acero galvanizado, instalación de la cubierta en plástico agrícola tipo agrolene UV y disposición de bandejas en malla plástica para la distribución del producto.

### Fase 5: Formulación de protocolo experimental

Se estableció una propuesta metodológica para futuras pruebas de medición de temperatura interna, humedad relativa y tiempos de secado, las cuales podrán desarrollarse en investigaciones posteriores.

## **Materiales Utilizados**

Para la construcción del prototipo se utilizaron los siguientes materiales principales:

Estructura en acero galvanizado.

Cubierta plástica agrícola con protección UV (agrolene) Bandejas en malla plástica.

Elementos de fijación (tornillos, anclajes y soportes metálicos).

La selección priorizó materiales disponibles en el mercado local, facilitando la replicabilidad del modelo en comunidades rurales.

### **Procedimiento de Construcción**

El proceso constructivo inició con la instalación de la base estructural y el ensamblaje del

armazón metálico. Posteriormente, se realizó la fijación de la cubierta plástica, garantizando tensión adecuada para evitar acumulación de agua lluvia.

Se instalaron las bandejas internas distribuidas estratégicamente para permitir circulación uniforme del aire. Finalmente, se verificó la estabilidad estructural y la correcta disposición de entradas y salidas de aire para favorecer la convección natural.

## **Diseño Técnico del Secador**

El diseño técnico del secador solar se fundamentó en criterios de funcionalidad, eficiencia térmica, estabilidad estructural y bajo costo. La configuración seleccionada corresponde a un modelo tipo túnel con ventilación natural, el cual permite aprovechar la radiación solar sin requerir sistemas eléctricos o mecanismos mecánicos adicionales.

### **Justificación del Tipo de Diseños**

Se optó por un diseño tipo túnel debido a sus ventajas en términos de:  
Distribución uniforme de la radiación solar.

Mayor capacidad interna de secado. Facilidad de construcción.

Optimización del flujo de aire por convección natural. Adaptabilidad a diferentes productos agrícolas.

El diseño cerrado protege los productos frente a contaminantes externos, lluvias inesperadas e interferencias ambientales, superando las limitaciones del secado tradicional a cielo abierto.

### **Dimensiones del Prototipo**

Las dimensiones del secador fueron definidas considerando capacidad de producción y eficiencia en circulación de aire:

Largo: 6 metros

Ancho: 3,5 metros

Altura máxima: 2,7 metros

El largo permite distribuir varias bandejas de secado, incrementando la capacidad operativa del sistema. El ancho facilita la manipulación interna y la organización del producto sin generar obstrucción del flujo de aire.

La altura de 2,7 metros cumple un papel fundamental en la generación del efecto chimenea, ya que permite que el aire caliente ascienda con mayor facilidad, creando un gradiente térmico que favorece la renovación constante del aire interno.

### **Principio de Funcionamiento**

El funcionamiento del secador solar se basa en los siguientes principios:

La radiación solar atraviesa la cubierta plástica transparente.

El aire interno se calienta por efecto invernadero.

El aire caliente asciende debido a la disminución de su densidad.

Se genera un flujo natural que expulsa el aire húmedo hacia el exterior.

Aire más frío ingresa por las aberturas inferiores, manteniendo circulación continua.

Este proceso permite la evaporación progresiva de la humedad contenida en los productos agrícolas sin consumo energético adicional.

### **Análisis del Flujo de Aire**

El diseño contempla entradas de aire en la parte inferior y salidas en la parte

superior o posterior del sistema. Esta configuración favorece el movimiento ascendente del aire caliente.

El flujo continuo evita la acumulación excesiva de humedad en el interior y mejora la eficiencia del proceso de secado. La ausencia de ventiladores reduce costos de operación y mantenimiento, aunque implica dependencia directa de las condiciones climáticas externas.

### **Capacidad Estimada**

Aunque no se realizaron pruebas experimentales cuantitativas en esta fase, el volumen interno del secador y la disposición de bandejas permiten estimar una capacidad significativa de carga para productos agrícolas de tamaño medio.

La distribución en bandejas de malla plástica facilita la exposición uniforme del producto al flujo de aire caliente, mejorando la eficiencia del proceso.

### **Ventajas del Diseño Implementado**

Entre las principales ventajas del diseño desarrollado se destacan: Bajo costo de implementación.

Materiales disponibles localmente. No requiere energía eléctrica.

Fácil mantenimiento.

Protección frente a contaminantes externos.

Posibilidad de replicación en otras comunidades rurales.

## **Construcción del Prototipo**

La fase de construcción del prototipo constituyó la materialización del diseño técnico planteado. Esta etapa permitió validar la viabilidad estructural del secador solar y comprobar la factibilidad de su implementación utilizando materiales disponibles en el mercado local.

### **Preparación del Área de Instalación**

El proceso constructivo inició con la adecuación del terreno donde se instalaría el secador solar. Se seleccionó un espacio con adecuada exposición a la radiación solar durante la mayor parte del día, evitando sombras generadas por árboles, edificaciones u otras estructuras.

El terreno fue nivelado con el fin de garantizar estabilidad estructural y correcta distribución del peso del armazón metálico. Esta etapa es fundamental para prevenir deformaciones o fallas en la estructura a mediano y largo plazo.

## Figura 1

*Nivelación y trazado de terreno.*



## Ensamblaje de la Estructura Metálica

La estructura principal fue construida en acero galvanizado, material seleccionado por su resistencia mecánica, durabilidad y resistencia a la corrosión.

El proceso de ensamblaje incluyó:

Instalación de bases estructurales.

Montaje de arcos superiores que conforman la forma tipo túnel. Refuerzos laterales para garantizar estabilidad.

Aseguramiento mediante tornillería y elementos de fijación metálicos.

La forma curva del diseño facilita la distribución de cargas y mejora la resistencia frente a vientos moderados, además de favorecer el escurrimiento del agua lluvia.

## Figura 2

*Montaje de tubería galvanizada y bandejas de madera*



### **Instalación de la Cubierta Plástica**

Una vez finalizada la estructura metálica, se procedió a la instalación de la cubierta en plástico agrícola tipo agrolene con protección UV. Este material permite el paso de la radiación solar, generando el efecto invernadero necesario para el calentamiento interno.

La cubierta fue tensada adecuadamente para evitar acumulación de agua en temporada de lluvias y fijada a la estructura mediante sistemas de sujeción que garantizan estabilidad frente a corrientes de aire.

La correcta instalación de la cubierta es un factor determinante en la eficiencia térmica del sistema, ya que evita pérdidas de calor y protege el interior del secador de

agentes externos.

### Figura 3

#### *Instalación de cubierta plástica*



#### **Instalación de Bandejas Internas**

En el interior del secador se instalaron bandejas fabricadas en malla plástica, material que facilita la circulación del aire alrededor del producto agrícola.

Las bandejas fueron distribuidas estratégicamente para: Permitir flujo de aire ascendente.

Evitar obstrucciones internas. Maximizar el área de exposición al calor.

Facilitar la manipulación y carga del producto.

La disposición interna fue diseñada para lograr equilibrio entre capacidad de carga y eficiencia del secado.

## Figura 4

*Instalación y pruebas de pesaje en bandejas plásticas*



### Verificación Estructural y Funcionamiento

Una vez finalizada la construcción, se realizó una inspección visual y estructural para verificar:

Estabilidad del armazón. Correcta fijación de la cubierta.

Adecuada disposición de entradas y salidas de aire. Funcionamiento del flujo de aire por convección natural.

El prototipo quedó completamente construido y funcional, cumpliendo con los criterios de diseño establecidos en la fase inicial del proyecto.

**Figura 5**

*Terminación de secador solar de bajo costo*



## **Análisis económico del proyecto**

El análisis económico del proyecto tiene como finalidad evaluar la viabilidad financiera del prototipo construido, considerando únicamente los costos asociados a la adquisición de materiales. La mano de obra no fue incluida en la estimación, dado que la construcción fue realizada mediante autogestión, lo que reduce significativamente el costo total de implementación.

### **Costo Total Estimado**

El costo aproximado de los materiales utilizados en la construcción del secador solar asciende a tres millones de pesos colombianos (\$3.000.000 COP).<sup>1</sup>

Este valor incluye la adquisición de los siguientes componentes principales:  
Estructura en acero galvanizado.

Cubierta plástica agrícola tipo AGROLENE con protección UV. Bandejas en malla plástica.

Elementos de fijación (tornillos, anclajes y soportes). Accesorios complementarios para ensamblaje.

La selección de materiales fue realizada bajo criterios de disponibilidad local y relación costo–beneficio, priorizando opciones que garantizaran durabilidad sin incrementar significativamente el presupuesto.

## **Justificación del Bajo Costo**

En comparación con secadores industriales convencionales, cuyo valor puede superar ampliamente los diez o quince millones de pesos colombianos, el prototipo desarrollado representa una alternativa económicamente accesible para pequeños productores.

El bajo costo del sistema se debe a:

Uso de materiales comerciales disponibles en ferreterías locales. Eliminación de componentes eléctricos o mecánicos.

Ausencia de sistemas automatizados. Construcción modular y sencilla.

Además, al no requerir consumo energético adicional, el sistema no genera costos operativos recurrentes relacionados con electricidad o combustibles.

## **Relación Costo–Beneficio**

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la viabilidad del proyecto puede analizarse en términos de relación costo–beneficio. La inversión inicial de \$3.000.000 COP puede recuperarse progresivamente mediante:

Reducción de pérdidas postcosecha. Mejora en la calidad del producto.

Incremento del valor comercial.

Mayor estabilidad en tiempos de secado.

Si se considera que las pérdidas poscosecha pueden representar un porcentaje significativo de la producción anual, la implementación del secador solar podría traducirse en una mejora sustancial en los ingresos del productor.

## **Viabilidad Económica para Pequeños Productores**

El sistema diseñado es viable para pequeños productores rurales debido a: Bajo requerimiento de inversión inicial.

Mantenimiento mínimo.

No dependencia de infraestructura eléctrica. Posibilidad de construcción progresiva o comunitaria.

Asimismo, el modelo puede adaptarse a diferentes escalas productivas, permitiendo ampliaciones futuras según la capacidad económica del productor.

## **Resultado y análisis del proyecto**

El desarrollo del presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados inicialmente, materializando una solución técnica viable para la problemática identificada en la región de los Montes de María.

### **Resultados Obtenidos**

El principal resultado del proyecto fue el diseño y construcción exitosa de un secador solar tipo túnel con ventilación natural, adaptado a condiciones climáticas locales y construido con materiales de bajo costo disponibles en el mercado regional.

Entre los logros alcanzados se destacan:

Construcción completa del prototipo funcional.

Implementación del diseño estructural definido en la fase técnica. Instalación adecuada de la cubierta plástica con protección UV. Integración de bandejas internas que favorecen el flujo de aire.

Definición de un protocolo experimental para futuras evaluaciones.

El prototipo quedó completamente operativo y estructuralmente estable, demostrando la factibilidad práctica del diseño.

## **Validación Técnica del Diseño**

Aunque en esta fase no se realizaron mediciones experimentales cuantitativas de temperatura y humedad, la configuración estructural del sistema permite inferir su funcionamiento adecuado bajo principios físicos ampliamente documentados.

El diseño cumple con:

Principios de transferencia de calor por radiación y convección. Generación de efecto invernadero.

Circulación natural de aire por efecto chimenea. Protección contra agentes externos.

La estructura cerrada mejora las condiciones sanitarias del secado frente al método tradicional a cielo abierto, representando un avance significativo en términos de control del proceso.

## **Ventajas Identificadas**

Durante el análisis del proyecto se identificaron las siguientes ventajas: Bajo costo de implementación.

Uso exclusivo de energía solar.

Reducción potencial de pérdidas postcosecha. Mayor protección del producto. Fácil mantenimiento.

Posibilidad de replicación en otras comunidades rurales.

Estas ventajas fortalecen la pertinencia del proyecto en contextos donde los recursos económicos y tecnológicos son limitados.

## **Limitaciones del Sistema**

A pesar de sus beneficios, el sistema presenta algunas limitaciones:

Dependencia directa de condiciones climáticas.

Variabilidad en tiempos de secado según radiación solar. Ausencia de control automático de temperatura.

Necesidad de monitoreo manual del proceso.

Sin embargo, estas limitaciones son coherentes con el enfoque de bajo costo del proyecto y pueden abordarse en futuras mejoras tecnológicas.

## **Potencial de Mejora**

El prototipo desarrollado puede evolucionar mediante la incorporación de:

Sensores de temperatura y humedad. Sistemas de ventilación asistida.

Aislamiento térmico adicional.

Mejora en distribución interna de bandejas.

Estas mejoras permitirían incrementar la eficiencia del sistema sin alterar significativamente su estructura básica.

## **Impacto del proyecto**

El desarrollo y construcción del secador solar de bajo costo genera impactos positivos en diferentes dimensiones del entorno productivo y social de la región de los Montes de María.

### **Impacto Económico**

Desde el punto de vista económico, el proyecto contribuye a la reducción de pérdidas poscosecha, lo que se traduce en una mayor disponibilidad de producto comercializable. Al disminuir el deterioro asociado al secado tradicional, los productores pueden mejorar la calidad del producto final y acceder a mejores precios en el mercado.

La inversión aproximada de \$3.000.000 COP en materiales representa un costo relativamente bajo frente al beneficio potencial generado por la disminución de desperdicios y la mejora en la estabilidad del proceso de secado.

Además, al no requerir consumo energético externo, el sistema no genera costos operativos permanentes, lo que fortalece su sostenibilidad económica en el tiempo.

### **Impacto Social**

El proyecto promueve la apropiación tecnológica en comunidades rurales, fomentando la autonomía productiva y el uso de soluciones adaptadas al contexto local.

La posibilidad de replicar el modelo permite que asociaciones de productores o

comunidades organizadas puedan implementar sistemas similares, fortaleciendo el trabajo colaborativo y el desarrollo rural.

Asimismo, el proyecto aporta conocimiento técnico aplicado desde la ingeniería industrial, demostrando cómo la disciplina puede contribuir a la solución de problemáticas reales en el territorio.

### **Impacto Ambiental**

El uso de energía solar como fuente principal de calentamiento reduce la dependencia de combustibles fósiles y minimiza la emisión de gases contaminantes asociados a sistemas de secado convencionales.

El aprovechamiento de un recurso natural renovable fortalece la sostenibilidad ambiental y se alinea con principios de desarrollo responsable y producción limpia.

### **Aporte a la Ingeniería Industrial**

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, el proyecto integra conocimientos de: Gestión de procesos.

Análisis de costos. Optimización de recursos. Diseño de sistemas productivos.

Evaluación de viabilidad técnica y económica.

El diseño del secador solar no solo responde a un criterio técnico, sino también a un enfoque de eficiencia productiva y mejora continua, pilares fundamentales de la ingeniería industrial.

## Conclusiones

El presente proyecto permitió diseñar y construir un secador solar de bajo costo adaptado a las condiciones climáticas y productivas de la región de los Montes de María.

Se logró demostrar la viabilidad técnica del sistema mediante la aplicación de principios de transferencia de calor, convección natural y efecto invernadero, materializados en un prototipo funcional tipo túnel.

La estructura construida, con dimensiones de 6 metros de largo, 3,5 metros de ancho y 2,7 metros de altura, cumple con criterios de estabilidad, eficiencia térmica y capacidad operativa.

El costo estimado de materiales, aproximadamente \$3.000.000 COP, confirma la viabilidad económica del sistema para pequeños productores rurales, manteniendo el enfoque de bajo costo y replicabilidad.

Aunque no se realizaron pruebas experimentales cuantitativas en esta fase, se estableció un protocolo para futuras evaluaciones, lo que permite proyectar mejoras y validaciones posteriores.

En términos generales, el proyecto representa una solución técnica pertinente, sostenible y alineada con las necesidades del contexto rural.

## Recomendaciones

Se recomienda desarrollar estudios experimentales que incluyan mediciones de temperatura interna, humedad relativa y tiempos de secado para distintos productos agrícolas.

Asimismo, se sugiere evaluar la incorporación de sensores térmicos de bajo costo que permitan monitoreo continuo del proceso.

Es pertinente promover la socialización del modelo en comunidades rurales y asociaciones de productores, con el fin de facilitar su replicación.

Finalmente, se recomienda continuar investigaciones orientadas a optimizar la eficiencia térmica del sistema sin incrementar significativamente su costo de implementación.

## Referencias bibliográficas

- Bala, B. K. (2017). *Drying and storage of cereal grains*. Wiley.
- Esper, A., & Mühlbauer, W. (1998). Solar drying—An effective means of food preservation. *Renewable Energy*, 15(1–4), 95–100.
- FAO. (2011). *Global food losses and food waste*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). *Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention*. FAO. <https://www.fao.org>
- Forson, F. K., Nazha, M. A., Akuffo, F. O., & Rajakaruna, H. (2007). Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers. *Solar Energy*, 81(3), 346–357.
- Hossain, M. A., & Bala, B. K. (2018). Drying of hot chilli using solar tunnel dryer. *Solar Energy*, 51(4), 321–326.
- Janjai, S., & Bala, B. K. (2012). Solar drying technology. *Food Engineering Reviews*, 4(1), 16–54.
- Kaletka, A., & Górnicki, K. (2010). Some remarks on evaluation of drying models of red beet particles. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2967–2978.
- Kumar, M., Sansaniwal, S. K., & Khatak, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>
- Madhlopa, A., Jones, S., & Kalenga, C. (2012). Solar drying of fruits and vegetables. *Renewable Energy*, 18, 346–355.
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of industrial drying* (4th ed.). CRC Press.

Sharma, A., Chen, C. R., & Vu Lan, N. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6–7), 1185–1210.

Simate, I. N. (2003). Optimization of mixed-mode and indirect-mode natural convection solar dryers. *Renewable Energy*, 28(3), 435–453.  
[https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00021-9)

Sodha, M. S., Bansal, N. K., Kumar, A., Bansal, P. K., & Malik, M. A. S. (1987). *Solar cropdrying*. CRC Press.

Tiwari, A. (2018). *Solar energy: Fundamentals and applications*. Springer.

Tiwari, G. N. (2016). *Solar energy: Basics, design, modelling and applications*. Alpha Science.

Tiwari, G. N. (2016). *Solar energy: Fundamentals, design, modelling and applications*. Narosa Publishing House.