



CONVENIO INTERINSTITUCIONAL UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA
– UPME - CV-003/15, INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCION DE
SOLUCIONES ENERGETICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS – IPSE -
005/2015 Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC
PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PARA
EL DEPARTAMENTO DEL CUNDINAMARCA – PERS CUNDINAMARCA

Plan de Energización Rural del Departamento de Cundinamarca PERS

Diseño e Implementación de un Prototipo de
Deshidratador Híbrido (Solar-GLP) de Bajo Costo para
el Procesamiento de Mango en el Departamento de
Cundinamarca

BOGOTÁ D.C, DICIEMBRE DE 2017

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Carrera 8 No. 40-62. Sede Edificio Suárez Copete 3er Piso.
Unidad de Extensión Facultad de Ingeniería.
Teléfono: 3239300 Ext: 1711
E mail: perscundinamarca@udistrital.edu.co



CONVENIO INTERINSTITUCIONAL UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA
– UPME - CV-003/15, INSTITUTO DE PLANIFICACION Y PROMOCION DE
SOLUCIONES ENERGETICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS – IPSE -
005/2015 Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC
PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PARA
EL DEPARTAMENTO DEL CUNDINAMARCA – PERS CUNDINAMARCA

Diseño e Implementación de un Prototipo de Deshidratador Híbrido (Solar-GLP) de Bajo Costo para el Procesamiento de Mango en el Departamento de Cundinamarca

Preparado por:

Javier Guacaneme

Revisado por:

Francisco Santamaría Piedrahita

BOGOTÁ D.C. DICIEMBRE DE 2017

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Carrera 8 No. 40-62. Sede Edificio Suárez Copete 3er Piso.
Unidad de Extensión Facultad de Ingeniería.
Teléfono: 3239300 Ext: 1711
E mail: perscundinamarca@udistrital.edu.co

Diseño e Implementación de un Prototipo de Deshidratador Híbrido (Solar-GLP) de Bajo Costo para el Procesamiento de Mango en el Departamento de Cundinamarca

Se plantea el desarrollo de un equipo de deshidratación replicable, soportado principalmente por energía solar térmica complementada con GLP, utilizado inicialmente para el procesamiento del mango postcosecha, y que pueda extenderse también a otras frutas, hortalizas, aromáticas, medicinales o condimentarias, teniendo en cuenta los ajustes particulares a cada especie procesada.

Fase del proyecto: Perfil

1 Identificación de la necesidad

En Colombia existe una gran variedad de climas y ecosistemas que le permiten tener una gran diversidad de frutas tropicales y tierras cultivables todo el año. A pesar de esto, productos postcosecha se pierden en porcentajes del 20% al 40% por distintas razones, principalmente patógenas.

El departamento de Cundinamarca, cuenta con una gran actividad agrícola siendo el mango uno de los productos fundamentales en la economía de la región, haciendo del departamento el segundo mayor productor del país. El mango es una fruta tropical que posee muchos nutrientes, pero al ser un alimento agrícola perecedero y por su alta producción en el departamento, una fracción de la cosecha que no es despachada a tiempo a centros de consumo se pierde. Esto debido a que muchos productores consideran más económico asumir las pérdidas abandonando el fruto, dado que los costos de cosecha y transporte pueden ser más elevados que las utilidades que el producto genera. Las pérdidas postcosecha en Cundinamarca superan el promedio nacional llegando a ser superiores al 50% en municipios como Anapoima.

Para evitar que esto suceda, existen diferentes formas de conservar el producto y obtener un beneficio económico. Una posibilidad de aprovechamiento es por medio de la deshidratación, mediante la cual el mango se deshidrata y se vende como otro tipo de producto, siendo este un método óptimo ya que ayuda a la

preservación del mango al minimizar el agua presente dentro del fruto, y de esta forma evita la proliferación de microorganismos. Para realizar la deshidratación de alimentos es necesario secarlos mediante una fuente de calor durante un tiempo determinado según se requiera.

Hay diferentes formas de realizar el secado, la más sencilla consiste en el deshidratado al aire libre, en la cual el producto es susceptible a adquirir impurezas y suele no cumplir con las normas mínimas de salubridad por lo cual no es una estrategia viable.

En el deshidratado por liofilización, el producto final posee una gran calidad pero sus costos de inversión y mantenimiento son muy altos. Otra forma de procesado es utilizando un horno con una fuente de energía para producir el calor, tal como la electricidad, el gas o carbón, entre otros, con el alto costo asociado a la fuente de energía o el tiempo requerido para el proceso.

Debido al cambio climático y a las actuales políticas ambientales, además de la fuerza que han adquirido las energías renovables, es recomendable utilizar medios alternativos a las fuentes convencionales de energía para realizar el deshidratado del mango, por tal razón se plantea realizar el diseño de un deshidratador solar híbrido (solar térmico y GLP con soporte fotovoltaico).

Un estudio preliminar para deshidratación solar de mango en Anapoima (latitud: 4° 33' 01" N longitud: 74° 32' 10" O) plantea un prototipo de deshidratación industrial para procesar 1640 kg por día, durante los 120 días que corresponden a las dos cosechas al año en los municipios de Cundinamarca, con lo que se recuperarían 196.8 toneladas de producto que de otra manera serían pérdidas.

El prototipo presenta requerimientos de ubicación, disponibilidad de espacio (24 m²) y de suministro de la materia prima organizada en 21 carros de 80 kg cada uno, por lo que sin tener en cuenta los costos de transporte del mango a la planta procesadora. El costo del prototipo de 1640 kg/día en Anapoima se estima en USD 30000. Este valor fue obtenido con base en los costos de un prototipo instalado en Huacalera (latitud 23° 26" S y longitud 65° 21" O), al norte de la República Argentina, cuyo costo llega a USD 8500 con capacidad de procesar 500 kg/día.

El éxito y la sostenibilidad de un prototipo de estas características requiere del trabajo asociado de los productores, de la organización de la cadena de producto en fresco y de la cadena de producto en seco, la logística de transporte y de almacenamiento entre otros temas relacionados con el tejido social. Según cifras estadísticas de 2012, tan sólo el 12% de los productores participan activamente en

asociaciones. También queda la pregunta de qué uso asignarle a la planta durante los 245 días restantes en los cuales no hay cosecha de mango.

Con base en estudios realizados en las provincias del Tequendama y Alto Magdalena, se han definido las características preliminares para la implementación de un deshidratador solar para proceso de deshidratado de pequeña escala con capacidad de 50 kg/día, el cual puede ser utilizado por los productores del departamento de Cundinamarca ya que cerca del 78% de los productores poseen menos de 3 ha cultivadas.

Un prototipo de estas características permite su implementación de parte de cualquier productor y obtener un valor agregado que evita las pérdidas que actualmente se presentan o al menos reducirlas, con la posibilidad de aumentar el tiempo de almacenamiento y ofrecer un producto que también se puede comercializar inclusive en la misma cadena de comercialización del producto fresco.

Un deshidratador de mango con una capacidad de 50 kg/día que obtenga la mayor parte de la energía de un colector solar y se complemente con GLP, sería una excelente herramienta de manejo de producto post-cosecha, sus dimensiones serían modestas y de fácil implementación, se propone suplir las necesidades extra de energía con GLP cuya disponibilidad se garantiza en los municipios de estudio.

Se propone el diseño de un prototipo de deshidratador híbrido Solar-GLP de bajo costo, replicable, con materiales de fácil acceso y construcción sencilla. Tal que un productor lo pueda construir con una guía básica y pueda darle uso a la producción que no pueda distribuir. El prototipo tiene un soporte de energía solar fotovoltaica con fines de control y manejo del aire. El desarrollo de este prototipo puede influir en el desarrollo de tejido productivo para el manejo del producto en seco para formalizar la cadena de producción en seco como complemento a las ya existentes de producto en fresco, o incluir productos con valor agregado a la misma cadena de comercialización de producto en fresco.

2 Población y/o grupo objetivo

2.1 Municipios de La Mesa y Anapoima en Cundinamarca

En términos de cultivo de mango, el municipio de Anapoima cuenta con 1737 ha de cultivo, asimismo el municipio de La Mesa cuenta con 1607 ha de cultivo. Lo

que los convierte, respectivamente en el tercer y cuarto municipios de mayor producción de mango en Colombia. Siendo Cundinamarca el segundo departamento de mayor producción en Colombia y el primero en proyección de área cultivable (Figura 1).

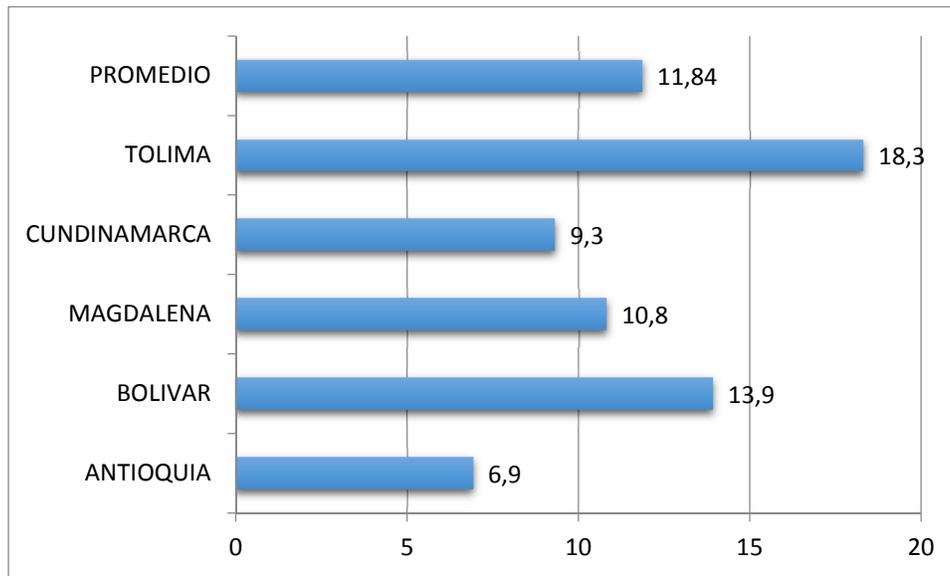


Figura 1. INDICADORES DE RENDIMIENTO DE LOS 5 PRINCIPALES DEPARTAMENTOS PRODUCTORES DE MANGO (ton / ha). Fuente: Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011 y sus Calendarios de Siembras y Cosechas. Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural. Nov. 2012

El 37% de la producción total de mango en el país se concentra en cinco municipios, de los cuales 3 pertenecen al departamento de Cundinamarca. Sin embargo en ellos también se presenta la mayor pérdida postcosecha y menor rendimiento de producción por *ha* (Figuras 2 y 3). Por lo que se propone un plan piloto para los municipios de Anapoima y La Mesa, cuyos resultados puedan llegar a ser aplicados a 15 municipios del departamento e incluso ser utilizado en otros productos cuya problemática postcosecha es similar.

	Anapoima	La Mesa
Coordenadas:	4°33'01"N 74°32'10"O	4°37'49"N 74°27'45"O
Altitud promedio:	710 m.s.n.m.	1200 m.s.n.m.
Temperatura promedio:	28° C	24° C
Población (habitantes):	13312 (censo 2015)	31350 (censo 2015)

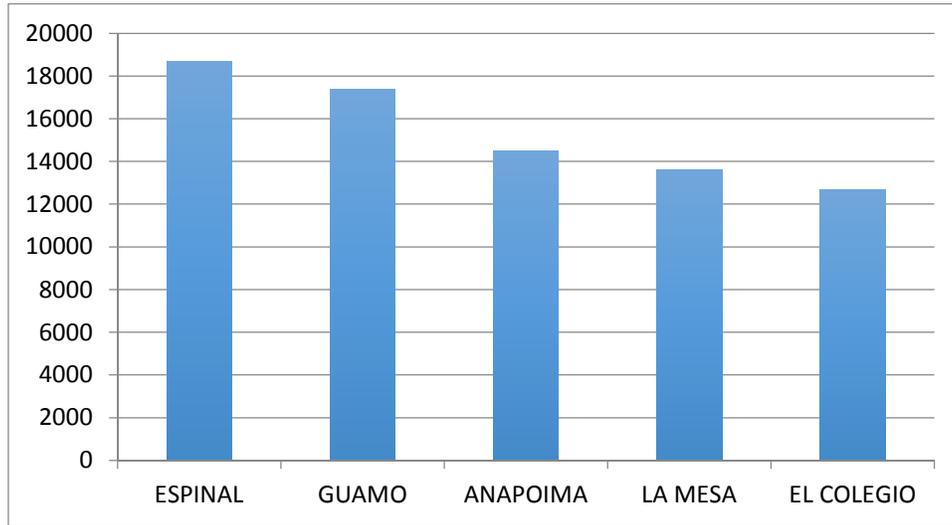


Figura 2. PROMEDIO DE PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES MUNICIPIOS PRODUCTORES DE MANGO (ton). Fuente: Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011 y sus Calendarios de Siembras y Cosechas. Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural. Nov. 2012

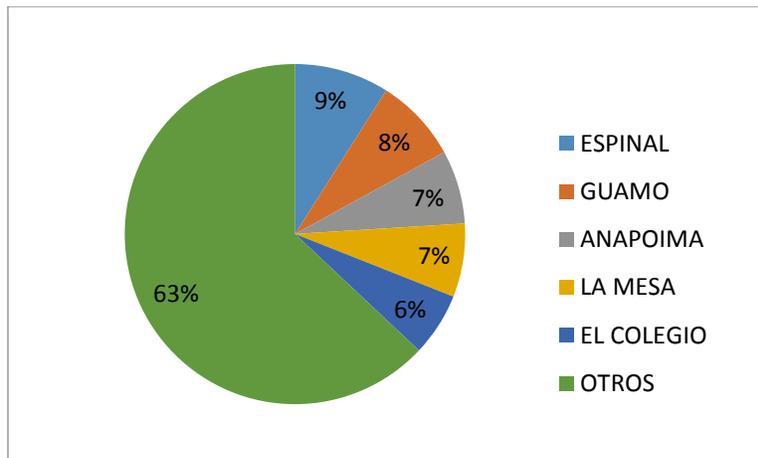


Figura 3. DISTRIBUCIÓN MUNICIPAL DEL PROMEDIO DE LA PRODUCCIÓN DE MANGO RESPECTO AL TOTAL. Fuente: Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011 y sus Calendarios de Siembras y Cosechas. Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural. Nov. 2012

2.2 Cantidad estimada de familias, grupos o población beneficiados

- Se estiman inicialmente 1300 productores, 900 en Anapoima y 400 en La Mesa. Se busca ofrecer una alternativa a pequeños productores que en su mayoría no superan áreas de cultivo de 3 ha.

- Dentro del proyecto se propone un programa de socialización y capacitación en temas de deshidratación de mango, empaque, distribución y mercadeo de productos con valor agregado. Resultado de este proceso se espera determinar la cantidad de productores interesados en el proyecto y que permitan su posterior implementación de forma masiva o a mayor escala.
- Parte del objetivo es desarrollar tejido productivo que interactúe con el mercado existente y genere una nueva línea de distribución de productos deshidratados.

3 Actores involucrados en la formulación y desarrollo del proyecto

- Oficina Asesora de Planificación URPA de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de la Gobernación de Cundinamarca
- PERS Cundinamarca
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas

4 Objetivos del proyecto

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño e implementación de un prototipo de deshidratador híbrido, para darle un aprovechamiento agroindustrial al mango postcosecha, con el fin de reducir las pérdidas de fruto, generar valor agregado a los productos, ampliar la oferta y mejorar la calidad de vida de los productores.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las condiciones ambientales en los que se realizará el deshidratado, especialmente el potencial de la radiación solar y las condiciones de humedad. A partir de lo cual se pueden determinar las características y requerimientos de energía de un prototipo de deshidratador híbrido (Solar-GLP) de 50 kg/día, de dimensiones y funcionalidad básicas que permitan garantizar una operación óptima sin mayores requerimientos de supervisión y de bajo costo.

- Diseñar un sistema modular de control de variables del deshidratado como kit básico del sistema de control con soporte fotovoltaico, de fácil manejo y adquisición. Asimismo, desarrollar una guía de fabricación y puesta en funcionamiento del prototipo, con recomendaciones para su utilización con varios productos.
- Impulsar y desarrollar el mercado de productos deshidratados iniciando con el mango utilizando estos prototipos locales, con la visión de crear tejido productivo que pueda industrializarse en el mediano plazo.

5 Estudio de alternativas - justificación técnica del proyecto

5.1 Estado de la técnica de deshidratado de mango

El proceso de secado de frutas, vegetales y granos se puede realizar utilizando diferentes métodos, sin embargo para producción industrial en un mercado competitivo, las opciones se reducen fundamentalmente por criterios de calidad y costos. Las técnicas más utilizadas en la producción de frutas deshidratadas son la liofilización y el secado en horno.

Liofilización: La liofilización es un método ampliamente utilizado para realizar el secado de distintos productos con el fin de preservarlos por un tiempo prolongado, este método puede ser utilizado en distintos sectores tales como el agro o el farmacéutico.



Figura 4. Liofilizador industrial

Fuente: <http://www.sbvindustrial.com/equipos-de-proceso/>

En la liofilización se congela el producto deseado alcanzando temperaturas de hasta -60°C para después reducir considerablemente la presión ambiental hasta 1

Pa, esto con el fin de realizar el respectivo secado al producto mediante el proceso de sublimación. La liofilización consiste en reducir la mayor cantidad de agua posible que hace parte del producto por medio del cambio de estado, pasando de congelado a vapor omitiendo el estado líquido. Este proceso es muy efectivo y más eficiente que la deshidratación mediante hornos, pero tiene como desventaja los altos costos de inversión y operación.

La deshidratación consiste en el proceso de extracción del agua que posee una sustancia, en este caso fruta o verdura, con el fin de reducir la proliferación de microorganismos. Al reducir el contenido de agua se conservan la mayoría de características propias de los productos con sabores más concentrados hasta un nivel que permite extender su vida útil.

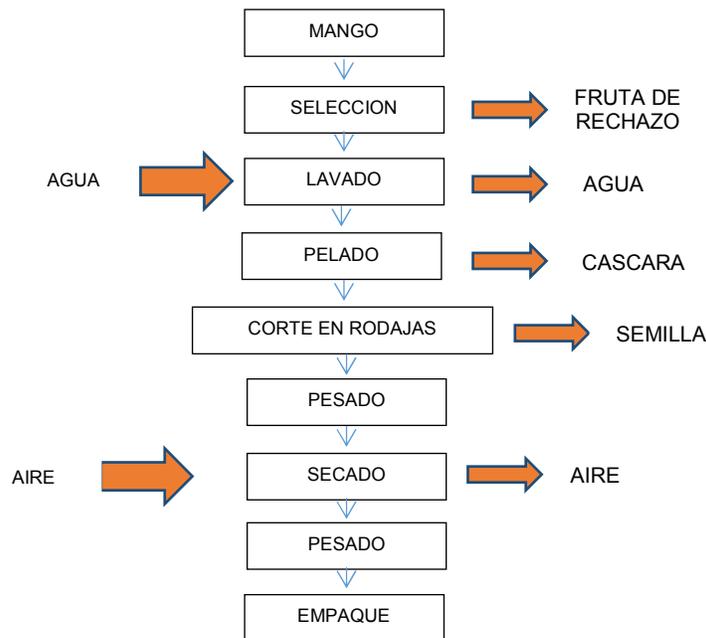


Figura 5. Recomendaciones IICA Prodar del proceso de deshidratado de Mango

El proceso de deshidratado se realiza mediante la transferencia de calor, debe ser tal que se alcance el calor latente de evaporación y que se logre que el agua o el vapor de agua atraviese el producto y lo abandone hasta que el contenido de humedad resulte inferior al 6% (puede ser mayor según el producto)¹.

¹ EDUARDO UMAÑA C, Estrategias en Productos Deshidratados-Frutas-Vegetales-Hiervas, Fiagro, San Salvador, Julio 2003.

El proceso de deshidratado, en el caso del mango debe seguir las recomendaciones que se expresan en el diagrama de flujo de la figura anterior, referenciado por IICA Prodar²

Deshidratación Osmótica: Este proceso de deshidratación consiste en sumergir el producto en una solución de agua y azúcar a un 70% de concentración, para que se origine un flujo donde la humedad que se encuentra dentro del producto se mezcle con la solución, reduciendo de esta forma el porcentaje de humedad incidente en el producto. La humedad del producto final es intermedio por lo cual se sugiere que posteriormente sean tratados mediante otros métodos de deshidratación. Este proceso tiene una eficiencia menor a la deshidratación mediante hornos y la liofilización, es económico pero dado los altos contenidos de humedad del fruto luego de realizado el proceso, hace que sea necesario complementarlo mediante otro método de deshidratación.

Deshidratador Eléctrico/Gas: El deshidratador que utiliza energía proporcionada por la electricidad y el gas. En un sistema de armario, se localiza un motor desempeñándose como ventilador absorbiendo aire caliente, y en la parte posterior a la estructura se encuentra otro motor que desfoga dicho aire, para trasportarlo junto con la humedad extraída de los frutos hacia el exterior. La corriente de aire creada por los motores, pasa por ventilas distribuidas en todo el compartimento interior del deshidratador (lugar donde reposa los productos organizados en bandejas o mayas) para que el secado del producto tenga una dispersión uniforme.



Figura 6. Deshidratador Gas/Electricidad. [Facilitado por Empresa BE FRUIT.]

El aire adquiere una temperatura considerable, gracias a la acción de combustión del gas (propano), después de esto, el primer motor (ventilador) absorbe ese aire y

² IICA Prodar, Ficha técnica del secado de mango, 2006
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Carrera 8 No. 40-62. Sede Edificio Suárez Copete 3er Piso.
Unidad de Extensión Facultad de Ingeniería.
Teléfono: 3239300 Ext: 1711
E mail: perscundinamarca@udistrital.edu.co

sigue con el proceso anteriormente mencionado. Los actuales deshidratadores disponibles en el mercado tienen una capacidad en promedio de 800 Kg.

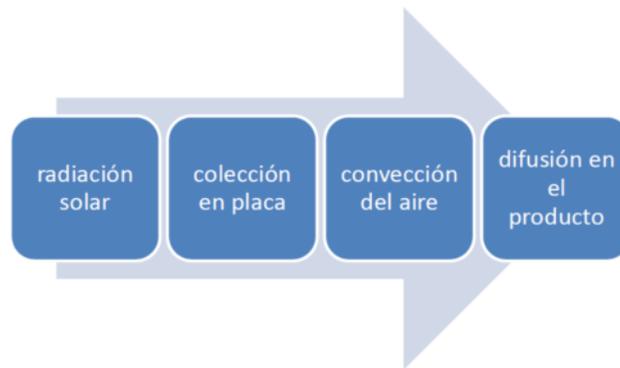
Deshidratador Eléctrico: El sistema del deshidratador eléctrico es similar al del deshidratador a eléctrico /gas con la diferencia que la fuente de incremento de temperatura con respecto al aire de entrada se da por una electro resistencia.

Su capacidad no es tan grande como en la de los anteriores métodos, ya que se requeriría de más potencia por parte de la resistencia para cubrir tal demanda, lo que conllevaría altos precios por cada proceso de secado (costo kW/h).

Los deshidratadores eléctricos proceden de la misma manera, pero aun así hay una variedad de modelos que cumplen con el procedimiento dado a conocer.

5.2 Secadores Solares

Los principios físicos que rigen el secado son independientes de la fuente de energía utilizada, la mayor parte de la energía es consumida para la transformación del agua líquida en vapor ($2258 \text{ kJ/kg a } 101,3 \text{ kPa}$)³. Así en el secado solar se presenta coordinada y secuencialmente transferencia de calor por radiación (del sol a la placa colectora), conducción-convección (de la placa al aire) y finalmente convección del aire sobre la superficie del alimento.



En cuanto a las consideraciones de transferencia de calor en el alimento debe tenerse presente que en el secado de láminas de pequeño espesor, el tiempo en el cual el alimento queda isotérmico es prácticamente de segundos, por ende se considera solo de transferencia de masa y queda explicado por la ley de difusión de Fick.⁴

³ V. Belessiotis y E. Delyannis, Solar drying, *Solar energy*, vol. 85, pp. 1665-1691, 2011.

⁴ S. A. Costa R. y S. Ferreira R., Sistema de secado solar para frutos tropicales, *Información tecnológica*, vol. 18, nº 5, pp. 49-58, 2007

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Carrera 8 No. 40-62. Sede Edificio Suárez Copete 3er Piso.

Unidad de Extensión Facultad de Ingeniería.

Teléfono: 3239300 Ext: 1711

E mail: perscundinamarca@udistrital.edu.co

En la Figura 7 se presentan los mecanismos de secado solar utilizados a nivel práctico, a continuación se describe las generalidades de cada técnica.

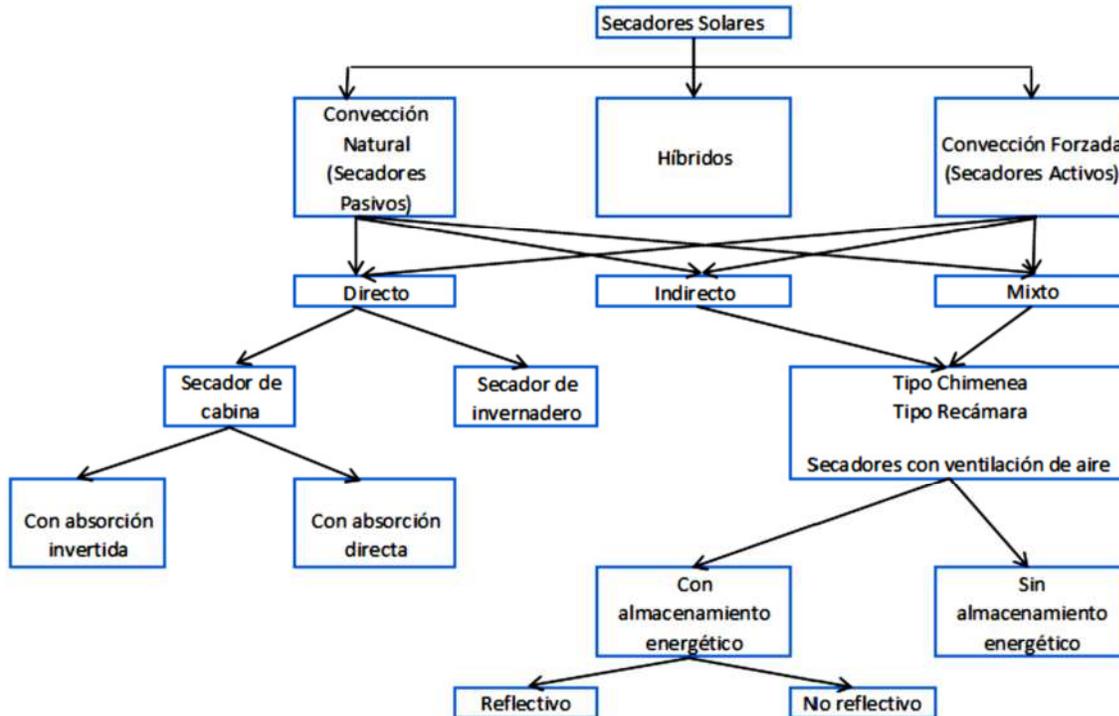


Figura 7. Tecnología de Secadores Solares.

Fuente: Estudio preliminar para deshidratación solar de mango (*Mangifera Indica L. var. Común*) en Colombia, CA Buitrago Huertas

Secado natural o al sol. Allí los productos son sometidos directamente a la radiación solar y a las condiciones medioambientales sin ningún tipo de protección.

Secador solar directo. En este equipo el producto es ubicado en un compartimiento cubierto con material transparente a través del cual pasa la radiación y se produce el secado del producto por convección natural y radiación directa.

Secador solar indirecto. Puede ser de convección natural o forzada. Se caracteriza porque existe una zona de recepción y almacenamiento de la energía incidente a través de la cual circula el aire y éste se desplaza hasta una recámara de secado donde se dispone el producto de interés.

Secador solar mixto. Es una combinación del secador directo e indirecto con el fin de garantizar continuidad en el proceso y una tasa de secado mayor.

Secador solar híbrido. Es un equipo que utiliza como fuente principal de calentamiento la energía solar y se supe de combustibles fósiles u otra forma de energía como reserva para los días nublados y las noches, de forma que sea posible la operación 24 horas al día a temperatura constante.

En el caso del prototipo que se plantea con mínimos requerimientos de materiales, pequeñas dimensiones por falta de espacio, energización híbrida solar-GLP, con capacidad de control (con soporte de energía fotovoltaica), capaz de procesar la producción no comercializada de productores con áreas de cultivo de cerca de 3 ha, de frutos postcosecha. Se reducen las posibilidades de secador solar a un secador de convección forzada indirecto tipo chimenea combinado con un sistema de suministro de energía utilizando GLP.

5.3 Empaque y distribución

El empaque tiene como objetivo mantener y preservar el producto, se depende del empaque para garantizar el traslado seguro desde el punto de procesamiento hasta su sitio de consumo. Al asumir el empaque implica cumplir con todos los reglamentos sanitarios y leyes alimentarias.

Se plantean dos alternativas de prototipo, la primera para una producción casera de 50 kg/día y la segunda a nivel industrial de 1 ton/día de capacidad de producción. Se plantea un empaquetado que cumpla con las buenas prácticas de manufactura pero diferenciado en el sus capacidades y presentaciones.

Cuando se considera la posibilidad de un envasado apropiado para pequeños productores y procesadores de alimentos, se deben tener en cuenta los siguientes puntos para hacerlo tan rentable como sea posible:

- Estandarizar el empaque tanto como sea posible, pues así se pueden comprar empaques en mayores cantidades a precios más económicos.
- Elegir materiales de empaque rentables.
- En lo posible utilizar materiales producidos localmente
- Utilizar materiales tradicionales si se mantiene la calidad

El estándar de distribución que se ha encontrado en el mercado de fruta deshidratada es el empaque de 35 gramos, seguido de empaques de 50 gramos.

La industria de empaques ya es un mercado desarrollado en el departamento de Cundinamarca, por lo que su disponibilidad es garantizada en las poblaciones de La Mesa y Anapoima, a pesar de no ser producidos localmente.

Es importante seleccionar un modo apropiado y rentable para almacenar el producto ya que los productos deshidratados deben estar protegidos de los rayos solares, de la humedad y de altas temperaturas. A pesar de estar empacadas se deben almacenar en un lugar fresco y seco.

En el primer caso de capacidad limitada se propone analizar un empaque primario para contener el producto de forma individual, en plástico flexible de polipropileno biorientado metalizado, para empaques de 35 gramos y/o 50 gramos (tamaños ya estandarizados en el comercio de fruta deshidratada). En ellas estará impresa, la marca, el nombre del productor, el país, la fecha de producción y de vencimiento, el código de barras y la información nutricional necesaria para poder comercializarlo.

Como empaque secundario agrupando varios empaques primarios, en paquetes de docena en polipropileno transparente. Esto facilita la distribución, el almacenamiento y el manejo de inventarios.

El polipropileno es un material transparente, muy hermético al vapor de agua, resistente al frío que ofrece muy buena rigidez y resistencia al impacto. Este tipo de empaque se puede sellar mediante calor y el acceso a selladoras es viable económicamente.

Para el caso de la alternativa de mayor capacidad, el empaquetado debe ser automatizado y se proponen adicionalmente, empaques de mayor capacidad de 125 gramos y 250 gramos. Así también empaques en cartón corrugado para embalaje y transporte.

En la actualidad el empaque debe cumplir con normas de etiquetado, y en el caso de exportaciones se requiere cumplimentar un mínimo de información. Se debe realizar una investigación acerca de las normas a cumplir desde el cultivo, recolección, procesamiento y empaque, así como el etiquetado, para los casos de mercado en los Estados Unidos o de la Unión Europea.

Para la comercialización de la fruta el canal más apropiado es el minorista (supermercados o tiendas) que es la principal vía para poder distribuir la fruta.

5.4 Alternativa 1

Con base en el trabajo de la maestría en Ingeniería con Énfasis en Energías Alternativas de la Universidad Libre, titulado *Caracterización de un deshidratador de mango solar ubicado en la región del Alto Magdalena*, se propone el diseño y

construcción de un prototipo de 50 kg/día de capacidad. Este diseño incluye un soporte de energía solar fotovoltaico que mejora el flujo de aire caliente en la cámara de secado. Se puede construir con materiales comercialmente factibles y cumple con los requerimientos mínimos de la industria de alimentos; además, podría replicarse fácilmente.

En la Figura 8 se presenta el plano y geometría del prototipo propuesto. Está conformado por un colector solar con panel fotovoltaico acoplado, una cámara de secado, que se propone modificar a tipo silo, y un sistema de ventilación por chimenea impulsado por ventilador. En este prototipo debe diseñarse el subsistema de GLP para que complemente los requerimientos de energía.

El prototipo propuesto en el trabajo de la referencia permite procesar 1 kg de mango por día. Se propone rediseñar el sistema para aumentar su capacidad hasta 50 kg/día, cumplir con la normatividad en cuanto a materiales para procesamiento de alimentos, calcular el colector solar incluyendo un sistema de control de la toma de aire, diseñar la cámara de secado teniendo en cuenta la circulación del aire en su interior y reducir el tiempo del proceso adaptando el sistema de calefacción con quemador de GLP.

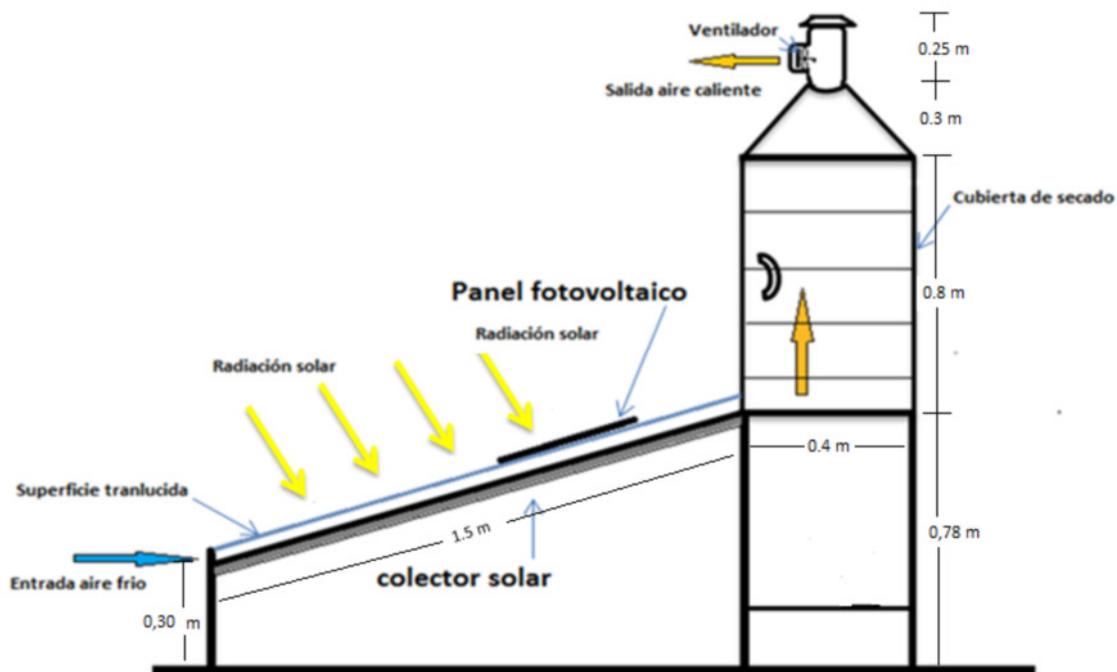


Figura 8. Esquema y descripción del prototipo de deshidratador solar propuesto en el trabajo de maestría en Ingeniería con Énfasis en Energías Alternativas de la Universidad Libre, titulado Caracterización de un deshidratador de mango solar ubicado en la región del Alto Magdalena, Libardo Cartagena Yara. 2014

El prototipo de deshidratador emplea energía solar indirecta por convección forzada a través de un extractor, el colector solar capta la energía de radiación, transmite calor por el movimiento del aire que circula a través del producto en la cámara de secado que permite elevar la temperatura y evapora el agua de la superficie en las rebanadas del mango, arrastrando la humedad del mango para así deshidratarlo. La energía solar fotovoltaica genera energía eléctrica para el funcionamiento del motor extractor y como fuente de alimentación de tensión continua para los circuitos operacionales que acondicionan la señal de temperatura.⁵

Las dimensiones del prototipo de deshidratador solar indirecto por convección forzada se ilustran en la figura 9, en donde el colector tiene 1.5 metros de largo con un ancho de 0.9 metros. Tiene una inclinación de 21 grados con respecto a la superficie, la cámara de secado tiene un ancho de 0.4 metros, una altura de 0.8 m, una profundidad de 0.9 m de secado y 0.55 m de chimenea; para una altura total del prototipo de 2.1 m.

En la Figura 9 se presenta una fotografía del prototipo de deshidratador solar construido en el municipio de Espinal – Departamento del Tolima.



Figura 9. Fotografías de un prototipo de deshidratador solar de baja capacidad, construido con materiales de fácil acceso. Fuente: Caracterización de un deshidratador de mango solar ubicado en la región del Alto Magdalena, Libardo Cartagena Yara. 2014

⁵ Caracterización de un deshidratador de mango solar ubicado en la región del alto magdalena Libardo Cartagena Yara. Magister en ingeniería con énfasis en energías alternativas. Universidad Libre
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Carrera 8 No. 40-62. Sede Edificio Suárez Copete 3er Piso.
Unidad de Extensión Facultad de Ingeniería.
Teléfono: 3239300 Ext: 1711
E mail: perscundinamarca@udistrital.edu.co

El objetivo de esta alternativa será diseñar un nuevo prototipo aumentando su capacidad, mejorando sus especificaciones, especialmente en el despiece y selección de materiales para poder generar una guía de construcción con lista de materiales, que pueda ser replicada por cualquiera de los productores de los municipios propuestos.

5.5 Alternativa 2

Consiste en implementar dos procesos, uno de corto plazo que consiste en el desarrollo de prototipos de 50 kg/ día de capacidad y otro a mediano-largo plazo de plantas industriales de más de 1 ton/día. Es un proyecto que puede considerarse una fase posterior de desarrollo. En el caso de consolidar la agremiación de productores (asociaciones cuya capacidad de recolección y transporte les permita coleccionar una buena cantidad de producto para procesar) se puede adoptar una estrategia de implementación de un deshidratador de mayor capacidad. Se plantea como referencia el caso del deshidratador propuesto en el trabajo de la especialización en ingeniería de procesos de alimentos y biomateriales de la Universidad Nacional abierta y a distancia, UNAD. Con una capacidad de procesar 1640 kg/día a partir de un 70% de colección de energía solar y 30% de energía proveniente de la combustión de 0,00047 kg de gas licuado de petróleo por día, GLP/día.

En esta alternativa el número de plantas a considerar es de una por municipio. Como estrategia de socialización se propone construir a corto plazo prototipos de una capacidad de 50 kg/día como en la alternativa 1 y diseñar lo que serían las plantas industriales para cada municipio.

El principio de funcionamiento de estos prototipos es el mismo del prototipo industrial del trabajo de la referencia, con lo cual el proyecto debe desarrollar desde los colectores, el sistema de distribución del aire y la cámara para la capacidad propuesta. Este esfuerzo inicial se compensa con el proyecto de mediano plazo, ya que en la socialización de los prototipos de 50 kg/día, se está implementando el proceso que necesitarán las plantas industriales.

En la Figura 10 se muestra un esquema de la planta del deshidratador propuesto. El calentamiento de aire se realiza a partir de la energía solar provista por un banco de colectores solares calentadores de aire. El movimiento de aire se produce mediante ventiladores eléctricos.

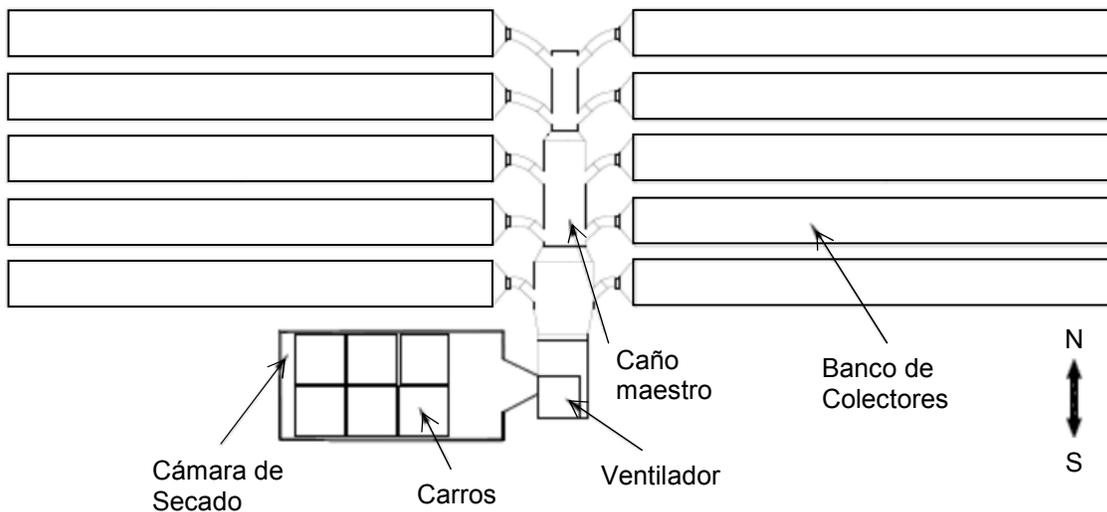


Figura 10. Esquema de planta del deshidratador donde se destacan sus partes principales. Fuente: IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII - SPES), Cusco, 1 – 5.11.2010.

Mediante el ventilador ingresa aire ambiente a los colectores y los recorre aumentando su temperatura. En la boca de entrada de cada colector se coloca un filtro de fibra sintética para hacer una primera limpieza del polvo grueso. El aire caliente que sale de los colectores ingresa al caño maestro donde se recoge todos los aportes.

El caño maestro se construye como otro colector con la cara superior translúcida y el interior pintado de negro mate. A la salida del caño maestro, el aire pasa por filtros metálicos donde se limpia de las partículas de polvo pequeñas y luego por el ventilador centrífugo hacia la cámara de secado donde se encuentra, dispuesto en carros, con el producto a deshidratar.

Finalmente, sale de la cámara a través de dos ventanas ubicadas en la puerta de ingreso del producto fresco, y se desecha a la atmósfera. Estas ventanas de salida tienen filtros de fibra sintética para evitar el ingreso de polvo a la cámara de secado.

Los colectores y el caño maestro trabajan en depresión debido a la succión del ventilador, mientras que la cámara de secado lo hace con sobre presión. El aire caliente entra por un extremo de la cámara de secado y lo recorre hacia el otro extremo pasando entre las bandejas con producto en los carros. El movimiento de los carros es a contracorriente del aire, lo que produce un gradiente de secado. Durante el día se sacan por una puerta lateral, próxima al ingreso del aire caliente,

los carros con productos secos y se introducen por la otra punta los carros con productos frescos desplazando las columnas hacia adelante.

La planta de deshidratado tiene dos secadores idénticos colocados en el eje norte-sur. La superficie total ocupada por cada secador es de 160 m², de los cuales el banco de colectores y el caño maestro utilizan 150 m², y la cámara de secado los 10 m² restantes.

El número total de colectores para cada secador es de 10, distribuidos en dos grupos de 5 ubicados en ambos lados del caño maestro. Se dejan 0,40 m de separación entre colectores para permitir la circulación, evitar el sombreado y para evacuar el agua de lluvia. Los colectores son cajas de chapa galvanizada de 0,94 m de ancho, 9,76 m de largo y 0,1 m de alto, rebatibles, con el absorbedor construido en chapa ondulada pintada en negro mate. En términos medios, por cada colector circula un caudal de aire de 600 m³hr⁻¹ con una velocidad de 1,8 m/s. Con este flujo el colector opera con una eficiencia aproximada del 50%, proporcionando una temperatura de salida en el rango de los 30-60 °C con una radiación solar media de 550 W/m².



Figura 11. Foto del colector solar calentador de aire. Vista de las campanas de reducción y acople al caño maestro. Fuente: IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII - SPES), Cusco, 1 – 5.11.2010

6 Resultados y Beneficios esperados del proyecto

El proceso de deshidratado del fruto postcosecha permite dar manejo a un gran porcentaje del fruto que no se logra comercializar, reduciendo las pérdidas actuales y mejorando las condiciones económicas de los productores. Asimismo se interviene un problema ambiental evitando que el fruto por descomposición afecte otras cosechas y sea foco de problemas fitosanitarios.

El uso de la energía solar evita los altos costos asociados al consumo de energía eléctrica de la red local, incentivando el desarrollo de nuevos productos ya procesados, cuyo valor agregado permita desarrollar nuevas actividades económicas.

Se espera fortalecer las redes de interacción de los productores, asociaciones, agremiaciones o cooperativas, especialmente identificando la posibilidad de acopio y proceso mancomunado o de redes de distribución e interacción para la comercialización de productos con valor agregado.

6.1 Beneficios de la alternativa 1. En este caso se propone diseñar un pequeño prototipo replicable, de tal manera que la mayoría de componentes y materiales sean de fácil consecución. Cada productor podría contar con una herramienta de bajo costo para realizar un proceso de deshidratado en su propio espacio, facilitando el almacenamiento de producto y su posterior distribución.

En este caso se esperan los siguientes resultados:

- Capacitación de un grupo de productores de los municipios de Anapoima y La Mesa, en el deshidratado de mango, empaque, almacenamiento y desarrollo de comercialización del producto.
- Proporcionar la información completa, planos, lista de materiales, procedimiento de construcción, puesta a punto y operación de un pequeño deshidratador híbrido de energía solar y GLP. Con esta información se suministra un sistema de control de temperatura y circulación de aire con soporte de energía fotovoltaica.
- Diseño, implementación y pruebas de prototipos de deshidratado de mango de 50 kg/día.
- Desarrollo de productos con valor agregado y mayor vida útil facilitando la interacción con redes de comercialización a nivel nacional e internacional.

6.2 Beneficios de la alternativa 2. Si se plantea la alternativa correspondiente a la construcción de prototipos deshidratadores con el mismo principio de funcionamiento de un prototipo de planta industrial. En este proyecto se requiere un trabajo fuerte de socialización y desarrollo de agremiaciones, tal que se pueda recolectar el producto fresco no comercializado, con el fin de procesarlo en una planta deshidratadora a construir. Asimismo fomentar el desarrollo de una red de distribución de producto deshidratado, empaque, almacenamiento distribución y mercadeo.

En este caso se requiere una estructura que permita el manejo del fruto, transporte, acopio, procesamiento, empaque, distribución y mercadeo.

Adicionalmente al desarrollo del sistema de deshidratado se deben analizar las posibilidades de desarrollo comunal para definir capacidades de almacenamiento y proceso.

Se esperan los siguientes resultados:

- Fortalecimiento de agremiación y desarrollo comunitario.
- Desarrollo de un sistema de transporte inter-veredal y acopio del fruto no comercializado en fresco y del producto procesado.
- Diseño de una planta de deshidratado solar de alta eficiencia y bajo consumo de energía eléctrica.
- Desarrollo de productos con valor agregado y mayor vida útil. Facilitando la interacción con redes de comercialización a nivel nacional e internacional.

7 Marco lógico de intervención

7.1 Marco lógico de intervención de la Alternativa 1.

	Lógica de intervención	Indicadores verificables	Fuentes y medios de verificación
Objetivos generales	<i>Diseñar un prototipo de deshidratación de mango, energizado con energía solar térmica combinado con GLP para alcanzar la temperatura requerida por el proceso y por energía solar fotovoltaica para el sistema de control del aire requerido para la capacidad de secado de la cámara. Construido con materiales de fácil acceso, replicable y de bajo costo</i>	<i>Prototipo de deshidratación Solar-GLP</i>	<i>Inspección que valide la existencia física del prototipo y las dimensiones y características consideradas</i>
		<i>Nº. de kilogramos de Mango deshidratado por día</i>	<i>Registro de producto deshidratado</i> <i>Reducción de la cantidad de pérdidas de mango post-cosecha</i>
Actividades a Realizar	<i>Diseño, implementación y prueba del prototipo de deshidratador híbrido replicable</i>	<i>Documento soporte del diseño con las especificaciones y listado de materiales de construcción</i>	<i>Documento físico y digital</i>
		<i>Prototipo funcional</i>	<i>Prototipo</i>

	<i>Despiece funcional del prototipo, especificando características físicas, dimensiones, calidades y ajustes requeridos.</i>	<i>Listado de materiales definiendo calidades, materiales, dimensiones y requerimientos de ajuste</i>	<i>Documento físico y digital</i>
	<i>Elaborar el manual paso a paso de construcción, ajuste y puesta a punto del prototipo</i>	<i>Manual paso a paso, ajuste y puesta en servicio del prototipo</i>	<i>Documento físico y digital de soporte</i>
	<i>Diseño y construcción del sistema de control de temperatura y aire soportado por panel fotovoltaico</i>	<i>Diseño, planos y listado de materiales del sistema de control y panel fotovoltaico funcional</i>	<i>Documento físico y digital, Prototipo del sistema de control</i>
	<i>Capacitación de los productores que utilizarán el prototipo propuesto, en la construcción, puesta en servicio y operación del prototipo</i>	<i>Nº de productores capacitados</i>	<i>Registro de asistentes a capacitación, Registro de entrega de sistemas de control</i>
Resultados esperados	<i>Prototipo funcional de deshidratador híbrido</i>	<i>Prototipo</i>	<i>Verificación de existencia del prototipo</i>
	<i>Estudio de prefactibilidad del proyecto</i>	<i>Estudio</i>	<i>Documento con la información detallada de los materiales, dimensiones, puesta en servicio y operación</i>
	<i>Documento manual de construcción y uso</i>	<i>Manual de construcción y uso</i>	

7.2 Marco lógico de intervención de la Alternativa 2

	Lógica de intervención	Indicadores verificables	Fuentes y medios de verificación
Objetivos generales	<i>Diseñar, implementar y probar dos prototipos de deshidratador híbrido (Solar-GLP) de 50kg/día</i> <i>Diseñar una planta de deshidratación de mango, energizada 70% por energía solar y 30% de GLP</i>	<i>Prototipos de deshidratación Solar-GLP</i>	<i>Visita de inspección que valide la existencia física de la planta y las dimensiones y características consideradas</i>
		<i>Diseño de planta industrial</i>	
		<i>Nº. de kilogramos de Mango deshidratado por día</i>	<i>Registro de producción de los prototipos y planteamiento de proyecto de planta industrial</i>
		<i>Verificación del proceso de funcionamiento</i>	<i>Reducción de la cantidad de pérdidas de mango post-cosecha</i>
Actividades a Realizar	<i>Medir la cantidad de producto post-cosecha disponible para ser procesado</i>	<i>Información de pérdidas y capacidad de acopio</i>	<i>Inspección, registros de producción y comercialización</i>
	<i>Implementación, puesta en marcha y evaluación de los prototipos de 50kg/día</i>	<i>Prototipos</i>	<i>Registro de producción de los prototipos, evaluación de calidad del producto</i>

	<i>Elaborar los estudios y diseños estructurales y arquitectónicos para la construcción de la planta de deshidratación</i>	<i>Documento</i>	<i>Documento físico y digital de soporte</i>
	<i>Elaborar los diseños industriales para la adquisición e instalación de los equipos, cámara, ventiladores, quemadores, industriales necesarios para la planta</i>	<i>Documento final de factibilidad</i>	<i>Documento físico y digital de soporte</i>
	<i>Estructurar los protocolos de los procesos y procedimientos para la operación de la planta</i>	<i>Manual de procesos y procedimientos</i>	<i>Documento físico y digital</i>
Resultados esperados	<i>Licencias ambiental, sanitarias y municipales otorgadas al proyecto que permitan el inicio de la construcción de la planta</i>	<i>Resolución(es) obtenida(s)</i>	<i>Documento de la resolución</i>
	<i>Estudio de prefactibilidad del proyecto</i>	<i>Estudio</i>	<i>Documento con la información detallada de los estudios y soportes de la veracidad de la información</i>
	<i>Documento manual de procesos y procedimientos</i>	<i>Manual de procesos y procedimientos</i>	

8 Costos

8.1 Costos detallados del proyecto

El proyecto se enmarca en un proyecto de investigación y apropiación tecnológica, por lo que se propone inicialmente el desarrollo de un proyecto de investigación con financiación de los fondos de Colciencias, en este sentido se utiliza el formato de costos de la convocatoria del año 2016.

En este formato se especifican los siguientes rubros: Equipos, materiales, bibliografía, servicios técnicos, eventos, personal investigador, software y publicaciones.

A continuación se describen los costos correspondientes a cada uno.

Equipos:

EQUIPO	Cantidad	Costo unitario	RUBRO	
			COLCIENCIAS	ENTIDADES EJECUTORAS
Osciloscopio digital	1			\$16.000.000,00
Cables de conexión	1	\$50.000,00		\$50.000,00
Módulo de capacitancias	1	\$150.000,00		\$150.000,00
Módulo de inductancias	1	\$150.000,00		\$150.000,00
Módulo de resistencias	1	\$150.000,00		\$150.000,00
Pinza volti-amperimétrica	1	\$50.000,00		\$50.000,00
Vatímetro digital		\$50.000,00		\$50.000,00
Multímetros	1	\$50.000,00		\$50.000,00
Reóstato	2	\$50.000,00		\$100.000,00
Cámara térmica	1	\$16.000.000,00	\$16.000.000,00	
Computador	1	\$4.500.000,00	\$4.500.000,00	
	Total		\$20.500.000,00	\$16.750.000,00

Los costos de materiales para el desarrollo del proyecto de investigación se describen en general a continuación y ascienden a un valor de \$16.400.000.00, valor a cubrir de parte del fondo Colciencias, el detalle se puede analizar en el anexo *Presupuesto_Deshidratador*

MATERIALES	
CATEGORIA	DETALLE
MODULO RENOVABLES	Panel Fotovoltaico
	Equipo convertidor
MODULO GLP	Almacenamiento
	Red y quemadores
ELEMENTOS ELECTRONICOS DISCRETOS Y ANALOGICOS	resistencias de superficie
	condensadores de superficie
	transistores de potencia
	Disipadores
	amplificadores operacionales de superficie
	condensadores DC
	fuentes DC
	Conectores
DISPOSITIVOS DE PROCESAMIENTO	Arduino
	Programación del dispositivo

Bibliografía: El rubro correspondiente a bibliografía sería una contrapartida de parte de las entidades ejecutoras y se detalla a continuación:

DESCRIPCION	COLCIENCIAS	ENTIDADES EJECUTORAS
Suscripción a la base de datos de la IEEE		\$2.500.000,00
Suscripción a la base de datos science direct		\$2.310.000,00
Libro de control electrónico		\$50.000,00
Libro de diseño de calentadores		\$80.000,00
TOTAL	\$0,00	\$4.940.000,00

Servicios Técnicos: El rubro es considerado a financiar de parte de Colciencias

DESCRIPCION	COLCIENCIAS
Desarrollo de tarjetas PCB	\$3.000.000,00
Fabricación de la estructura mecánica del deshidratador	\$10.000.000,00
Estudios de mercado	\$3.000.000,00
Estudios de viabilidad de patente	\$8.000.000,00
TOTAL	\$24.000.000,00

Eventos:

En las convocatorias se financian hasta dos eventos por lo que se propone realizar las capacitaciones con los productores interesados contando con un rubro a financiar por Colciencias de \$10.000.000.00

Personal Investigador:

En estas convocatorias los presupuestos son a 12 meses por lo que el costo para un equipo de trabajo conformado por 4 investigadores, dos con formación doctoral y dos ingenieros asciende a \$80.400.000,00, de los cuales \$58.800.000,00 corresponden a financiación de Colciencias y \$21.600.000,00 a la entidad ejecutora.

El valor total del proyecto a 12 meses corresponde a **\$182.337.810,00**, de los cuales **\$138.047.810,00** corresponden a la financiación de parte de Colciencias y el valor restante **\$44.290.000,00** a la contrapartida de parte de las entidades ejecutoras los cuales son generalmente en especie.

La siguiente tabla estima los costos de fabricación y puesta en marcha de un prototipo de deshidratador, una vez seleccionados y ajustados los componentes.

OBJETO	COSTO	CANTIDAD	COSTO TOTAL POR EQUIPO
Silo (material por seleccionar)	400000	1	\$400.000,00
Vidrio de colector	50000	1	\$50.000,00
Cajón de colector	20000	1	\$20.000,00
Recubrimiento negro de colector	1500000	1	\$1.500.000,00
Ventiladores 280 W c/u	70000	2	\$140.000,00
Sensores PT100	40000	3	\$120.000,00
Procesador Arduino	100000	1	\$100.000,00
Conexión del circuito de control	20000	1	\$20.000,00
Costo de programación control	1000000	1	\$1.000.000,00
Conexión del circuito de generación fotovoltaica	20000	1	\$20.000,00
Paneles fotovoltaicos 245 W c/u	713000	2	\$1.426.000,00
Baterías	385000	2	\$770.000,00
Soporte del deshidratador	50000	1	\$50.000,00
Instalación del sistema fotovoltaico	70000	1	\$70.000,00
Malla o filtro de entrada de aire	20000	1	\$20.000,00
Bandejas o soportes del producto a secar	40000	4	\$160.000,00
TOTAL			\$5.866.000,00

8.2 Fuentes de financiación

El proyecto puede ser financiado por alguna de las siguientes fuentes;

*Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola,
Colciencias,
Secretaría de Agricultura de la Gobernación de Cundinamarca.*

9 Aspectos institucionales y legales

Si el proyecto se financia a través de alguna de las convocatorias de Colciencias, se debe conformar un grupo de entidades ejecutoras, que presenta una carta de aval en la que se definen los compromisos adquiridos por cada una de las entidades aliadas. Asimismo cumplir con todos los requerimientos que se expresen en la convocatoria.

10 Aspectos ambientales

El objetivo principal de este proyecto es la reducción de las pérdidas postcosecha, de manera que no sólo se resuelve un problema económico sino principalmente ambiental, ya que se reduce el efecto de problemas como el de la mosca de la fruta que afecta cosechas y plantaciones de diferentes productos.

Por otra parte se propone un prototipo cuyos materiales cumplan con todos los requerimientos del INVIMA para el proceso de alimentos para comercialización, de esta manera se garantizan las condiciones organolépticas de los productos. Y en el mismo sentido se busca un grupo de materiales accesibles y de bajo costo.

El prototipo propuesto pretende ser totalmente solar, mezclando los componentes de energía termosolar y fotovoltaica, éste último como soporte de administración y control. De manera que se impulsa el desarrollo tecnológico con base en la explotación de energías limpias y renovables en consecuencias con los propósitos de las iniciativas en el manejo de energía y el uso racional de las fuentes existentes.

11 Sostenibilidad del proyecto

La sostenibilidad del proyecto depende fuertemente del compromiso de las asociaciones de productores, de tal forma que se desarrollen redes de tratamiento del producto en fresco y de los productos con valor agregado en seco.

La inversión propia en la consecución de los materiales para la construcción del almacén, silo y bandejas del deshidratador representan un esfuerzo del productor que debe estar motivado, y de parte del proyecto se proporciona un kit de soporte y control consistente en el panel fotovoltaico y tarjeta de control electrónico que proporciona el monitoreo de las variables de temperatura humedad y aire. Este kit deberá contar con un soporte técnico de reemplazo de las tarjetas y con la capacitación adecuada para el manejo y mantenimiento del panel fotovoltaico.

Las asociaciones e instituciones involucradas deberán propender por el desarrollo de las redes de distribución del producto procesado, garantizando la recuperación de la inversión y ofreciendo beneficios a los productores.