



Manual de construcción y uso: Secador solar



OCTUBRE 2020
www.ayllusolar.cl

INSTITUCIONES EJECUTORAS SERC CHILE



SOCIOS ESTRATÉGICOS



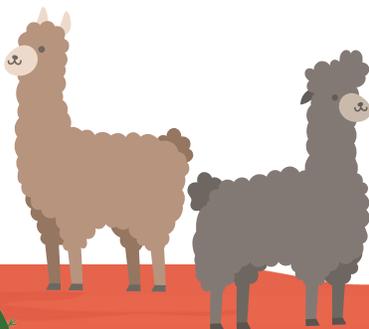
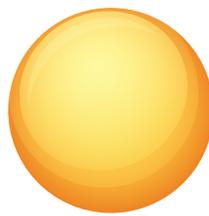
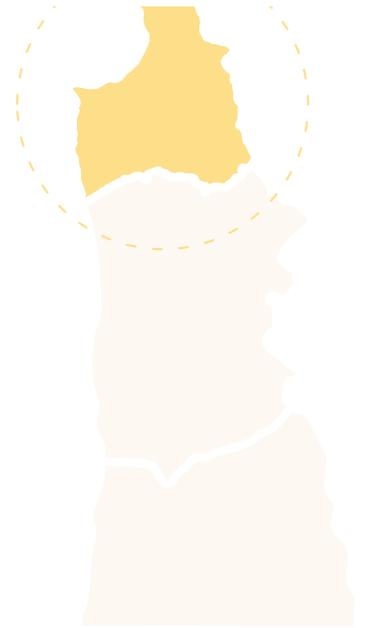
Contenido

I.	Introducción	3
II.	Aspectos teóricos	4
	Proceso de deshidratación y secador Solar	4
	Tipos de secadores	4
	¿En qué consiste el proceso de secado?	6
III.	El secador y sus partes	7
IV.	Construcción del Secador Solar	8
	Etapa 1: Cuerpo del secador	8
	A. Construcción del fondo	9
	B. Construcción Laterales	11
	C. Construcción de sección de entrada y salida	11
	D. Unir el cuerpo	13
	Etapa 2: Cubierta	14
	Etapa 3: Bandejas	16
	Etapa 4: Caballete	17
V.	Uso del secador solar	20
VI.	Comentarios finales	21
VII.	ANEXO: Cortes de madera	22

I. Introducción

El presente documento es una guía paso a paso para construir un secador solar tipo radiativo-convectivo. Este manual es una referencia, pudiendo adaptarse a las necesidades de cada caso. Ha sido desarrollado a partir de la experiencia de EcoMaipo y de sus fundadores Roberto Román y Rodrigo Valdovinos quienes han trabajado más de veinte años de forma teórica y práctica en la construcción de secadores solares, probando una gran variedad de productos y tipos de secadores, obteniendo excelentes resultados.

El presente documento se enmarca en el trabajo desarrollado por el Ayllu Solar, el que busca colaborar con el desarrollo sustentable de las comunidades urbanas y rurales de la región de Arica y Parinacota a través de la creación capital humano y realizar iniciativas en base a energía solar.



II. Aspectos teóricos

Proceso de deshidratación y secador Solar

Uno de los métodos más antiguos para conservar productos agrícolas es el deshidratado. Al disminuir el contenido de humedad del producto, se logra una conservación más larga en comparación al producto fresco. Este efecto de conservación se debe a varios factores:

- Para productos orgánicos con bajo contenido de azúcares (hojas, verduras, algas), la disminución de humedad por debajo de niveles críticos demora la proliferación de hongos, pudrición y otros fenómenos que deterioran los alimentos.
- En el caso de productos con azúcares (por ejemplo frutas), el secado, además de retardar el deterioro por la menor humedad, aumenta la concentración de azúcares. Por lo tanto el producto seco y con elevado contenido de azúcares tiene una fuerte resistencia al deterioro.
- En el caso de productos especialmente sensibles (por ejemplo carnes o pescados), el secado se puede combinar con un *salado*. Aquí, el producto seco con un alto contenido en sal es resistente al deterioro.

Es fundamental para que la calidad final del producto sea óptima, el proceso de secado sea muy cuidadoso y lo mismo para el proceso para conservar el alimento seco.

Tipos de secadores

En general es posible distinguir entre tres tipos de secadores solares: *directos*, *indirectos* y *mixtos*. Esta nomenclatura distingue la forma en que se transfiere la energía entre el producto y el entorno que lo rodea. Veamos esto en mayor detalle:

- **Secadores directos:** el producto está en una cámara bastante hermética y recibe directamente la radiación solar. Al absorber la misma, su temperatura sube, aumentando la presión de vapor del agua del producto y el aire remueve la humedad. Al haber poca circulación de aire, las temperaturas tienden a subir

mucho y es probable que se produzca deterioro del producto. Si este tipo de secadores son muy simples, tienen el inconveniente de cargar poco producto y entregar una calidad dudosa. Es muy probable que el producto se quemara.

Figura 1: Secador solar directo



- **Secadores indirectos:** en este caso el producto está en una *cámara de secado* opaca. El aire de secado se *precalienta* con colectores solares y el aire caliente se inyecta a la cámara de secado. El aire le transfiere calor al producto y este pierde humedad. El proceso que sigue el aire es similar a un enfriamiento adiabático. Al pasar el aire por las bandejas va ganando humedad y enfriándose. Tienen la ventaja de que el producto está protegido de la radiación y si se cuidan las temperaturas la calidad es muy buena.

En este caso se tiene básicamente un colector solar donde el aire ambiente se calienta y luego una cámara de secado donde el producto se dispone en bandejas. La ventaja que tiene es que el producto no recibe radiación, por lo cual normalmente retiene mejor color. Pero si el secador no se diseña bien, la circulación de aire es pobre y a menudo puede haber problemas de hongos.

Figura 2: Pequeño secador indirecto en Tacna, Perú



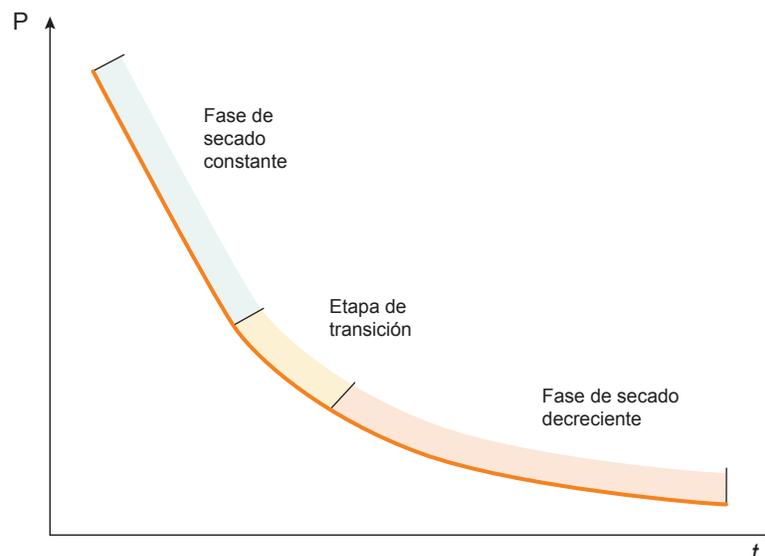
- **Secadores mixtos:** Es un caso mezclado entre los dos anteriores. Aquí el producto absorbe radiación, pero también hay una convección mucho más activa. Así que las temperaturas son bajas y la remoción de humedad muy efectiva. Tienen la ventaja de requerir menores temperaturas de aire y ocupar relativamente poca superficie. **Este es el tipo de secador que se construirá con el presente manual.**

¿En qué consiste el proceso de secado?

En general, para todos los productos que uno desee secar, se pueden distinguir claramente tres fases en el proceso de secado. Estas son:

- I. **Fase de secado constante:** aquí el producto se comporta como una superficie mojada. La velocidad de secado está limitada estrictamente por las propiedades del aire que uno usa para secar, la geometría del sistema y el caudal de aire.
- II. **Etapa de transición:** aquí parte de la superficie de la fruta está seca y parte aún está húmeda. La velocidad de secado comienza a decrecer.
- III. **Fase de secado decreciente:** en este caso la superficie del producto está cada vez más seca y la humedad migra desde el interior básicamente por procesos de difusión. El secado es cada vez más lento y está gobernado por las propiedades del producto y en parte por las condiciones ambientales.

Figura 3: Diversas etapas en el proceso de secado



La velocidad de secado va a estar influenciada por:

- **Condiciones de aire de secado:** debe tener condiciones de temperatura y humedad compatibles con el proceso de secado.



- **Condiciones del producto:** en especial el área de transferencia (cortes). Es bueno maximizar el área para acelerar el producto. Además, en algunos casos se necesitan tratamientos previos para facilitar el secado.

En la práctica, para muchos productos, la etapa de secado decreciente puede ser unos 2/3 del tiempo de secado total. De manera que es una etapa crítica que demanda cuidado y atención.

También debemos tener claro los mecanismos de aporte de energía durante el proceso de secado. Cuando se usa secado indirecto, la temperatura de la superficie del producto es menor a la temperatura del aire. En el caso de secado directo o secado mixto, un aporte importante de energía es la radiación solar que absorbe directamente el producto. En este caso la temperatura del producto normalmente es mayor que la temperatura del aire.

III. El secador y sus partes

El secador radiativo-convectivo consiste de una estructura rectangular que actúa de forma simultánea como colector solar y cámara de secado donde se disponen los productos a deshidratar. Este diseño presenta la ventaja de dar tiempos de secado más cortos que los secadores indirectos y también un producto final de excelente calidad.

Los componentes principales del secador son:



1. **Sección Salida:** Similar a la sección de entrada, pero con los 2/3 de su tamaño cubierto y solo 1/3 con salida cubierta con malla mosquitero.
2. **Bandejas:** Donde se deposita la fruta. Estas se fabrican con bastidor en madera de 2X1", un atiesador central de 2X1", malla de jardín plástica para instalar la fruta y un reborde.
3. **Cuerpo:** Constituido por el *fondo* de los elementos *laterales*. La descripción detallada de estos componentes se entrega en punto separado.
4. **Cubierta:** Hecha de madera de pino seca cepillada con piezas de 2X1" en estructura y 4X1" en los bordes. La cubierta tiene atiesadores de 2X1" y cubierta de policarbonato alveolar.
5. **Sección Entrada:** Estructura con malla mosquitero que también sirve para unir el fondo con los laterales.

Los elementos principales son los *laterales* y el *fondo*. Es el material del lateral el que define gran parte de las dimensiones del secador.

IV. Construcción del Secador Solar

A continuación se presentan los materiales requeridos y las instrucciones para construir un secador solar. Para facilitar el proceso, se propone organizar el trabajo en cinco etapas consecutivas en función de las distintas partes que forman el secador.

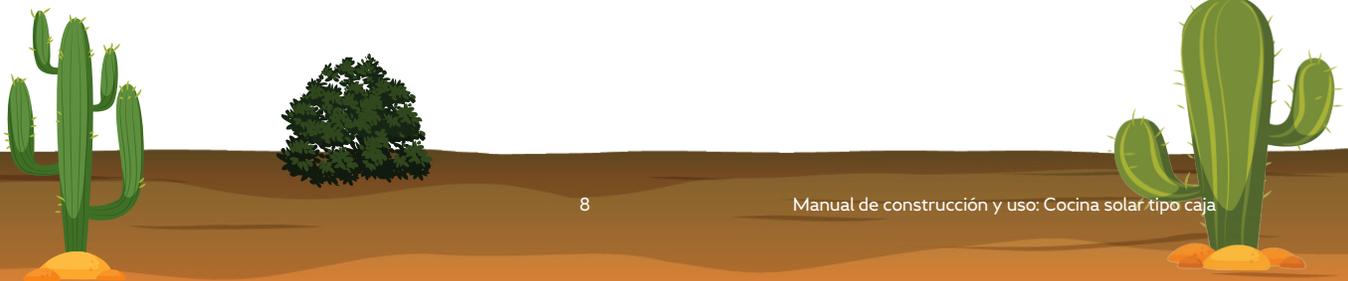
En cuanto al valor aproximado en materiales, el artefacto tiene un costo unitario aproximado de 2,8 UF (\$80.000 aprox.)¹

ETAPA 1: Cuerpo del secador

Comenzaremos construyendo el fondo, los laterales y las secciones de entrada y salida del aire. Los materiales que utilizaremos son los siguientes:

Materiales		
Fondo	Laterales	Sección de entrada y salida
3 palos de pino cepillado de 2x1" por 3,20 m	1 plancha de 1,20x2,40 m de Terciado estructural de 15mm	3 palos de pino seco cepillado de 2x1" por 3,20 m
3 planchas de aislapol de 1x0,5 m de 30mm de espesor (plumavit)	32 tornillos para madera de 6x1,5"	1 rollo de malla mosquitera de 1,25 x 3
1 plancha de zinc liso 1x3 m de 0,35 mm de espesor	¼ galón de preservante de madera satinado, color a elección	Policarbonato restante de cubierta
20 tornillos para madera de 6x2"	1 brocha	Grapas y engrapadora
100 tornillos autoperforantes cabeza de lenteja de 8x ½ "		
½ litro de pintura para zinc color negro		
1 brocha		

¹ Valor UF correspondiente a Octubre de 2020.



A. Construcción del fondo

El fondo del secador se asemeja a un sándwich, donde el centro corresponde a una estructura de madera rellena de aislapol, cubierta por zinc por ambas caras. Para esto, primero se construye una estructura de madera de pino cepillado de 2x1" de costillas (puesto acostado), rellenas de aislapol (plumavit) de 20 mm de espesor. Esta estructura va recubierta de zinc liso de 0,3 mm de espesor por ambos lados, atornillado a la estructura de madera. Una vez construido deberá pintarse el zinc liso con anticorrosivo negro.

A continuación se describe paso a paso:

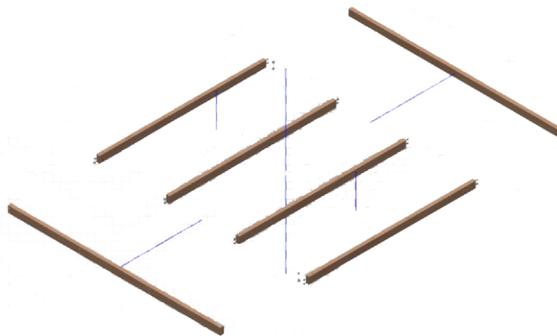
- **Paso 1: construir esqueleto**

Realizar 6 cortes de pino cepillado de 2x1", con las siguientes medidas:

- 2 Cortes de 100cm
- 4 Cortes de 80cm

Disponerlos como la figura 4 y fijar los cortes con tornillos de 2".

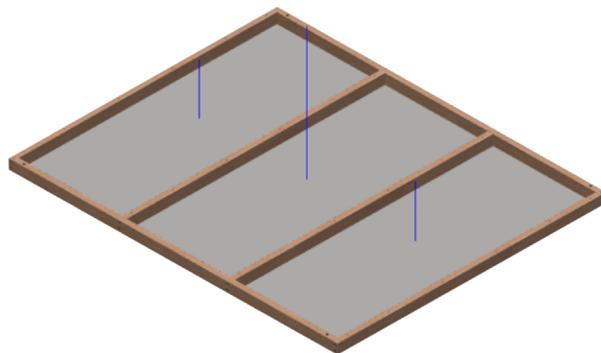
Figura 4: Esqueleto



- **Paso 2: fijar el zinc al esqueleto**

Cortar una plancha de zinc liso con dimensiones de 83x100 cm, luego fijarla al esqueleto de madera con tornillos auto-perforantes de 1/2", como se observa en la figura 5.

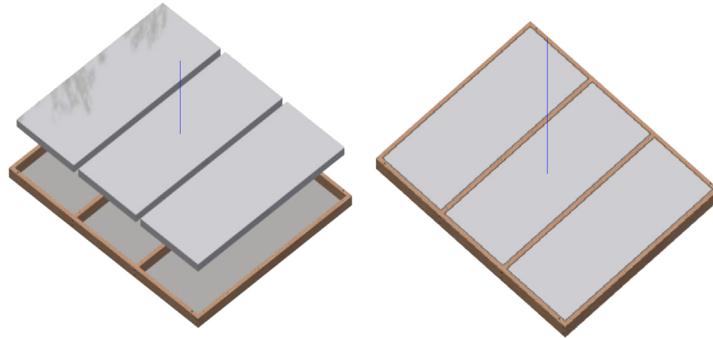
Figura 5: Zinc al esqueleto



- **Paso 3: incorporar el aislante**

Realizar 3 cortes iguales de 30x80 cm de aislapol, luego proceder a rellenar el esqueleto de madera como se muestra en la figura 6.

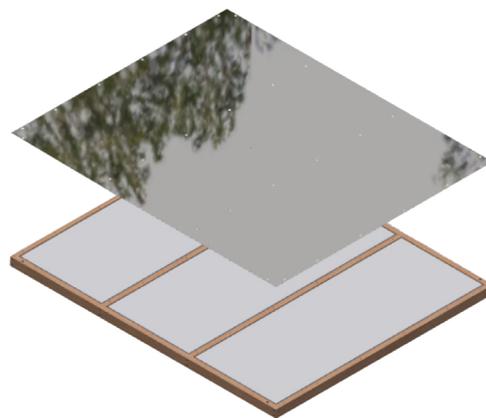
Figura 6: Aislapol



- **Paso 4: fijar la otra cubierta de zinc**

Cortar la plancha de zinc liso con dimensiones de 83x100 cm, luego fijar mediante tornillos autoperforantes de $\frac{1}{2}$ " a la parte superior como se observa en la figura 7.

Figura 7: zinc sobre el esqueleto



B. Construcción Laterales

Se utilizará terciado estructural de 15 mm como mínimo. Cabe mencionar que cada uno de los laterales lleva en su cara interior tres cortes de 10cm de pino cepillado 2x1" dispuestos en 45 grados que actúan como soportes para las bandejas.

Se recomienda fijar los soportes para las bandejas, una vez que estas estén listas. De manera que se pueda dimensionar de forma manual la mejor ubicación para los soportes cuidando que estas piezas permitan a la bandeja quedar justo bajo el nivel de la cubierta.

Para los laterales, al igual que todas las partes de madera del secador, se recomienda pintarlos con preservante para madera con el fin de extender la vida útil del artefacto.

Figura 8: laterales

- **Paso 5: cortar el terciado**

Realizar 2 cortes de terciado estructural de 15mm, como se observa en la figura 8.

- 2 cortes de 30x100 cm



C. Construcción de sección de entrada y salida

Sección de entrada de aire

Para esta sección se utilizará pino seco cepillado de 2x1" puesto de canto con el cual se construye un marco con tres ventanas en su interior, el cual será cubierto íntegramente por una malla mosquitera fijada con una engrapadora.

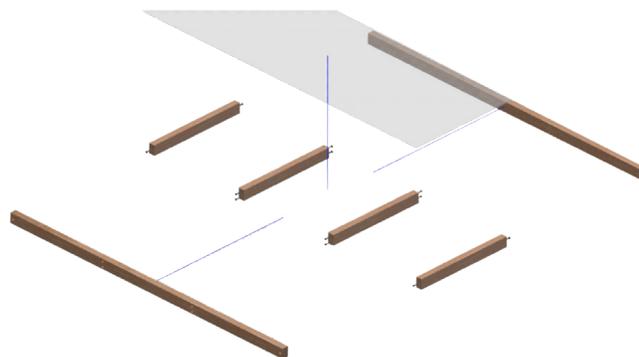
- **Paso 6: construir el marco**

Realizar 6 cortes de pino cepillado de 2x1", con las siguientes medidas:

- 4 Cortes de 22cm
- 2 Cortes de 84cm

Se ensamblarán como la figura 9, fijar los cortes mediante tornillos de madera de 2".

Figura 9: marco sección entrada



- **Paso 7: fijar malla mosquitera**

Fijar la malla mosquitera al marco, como se muestra en la figura 10.

Este procedimiento se puede realizar con una engrapadora.

Sección de salida del aire

Para esta sección se construye un marco idéntico al anterior, con la diferencia de que solo la ventana del centro se cubre con malla mosquitera, mientras que las dos ventanas laterales se cubren con policarbonato (restante de la cubierta).

- **Paso 8: construir marco**

Realizar 6 cortes de pino cepillado de 2x1", las medidas son las siguientes:

- 4 Cortes de 22cm
- 2 Cortes de 84cm

Se ensamblarán como la figura 11, fijar los cortes con tornillos de madera de 2".

Figura 10: malla mosquitera

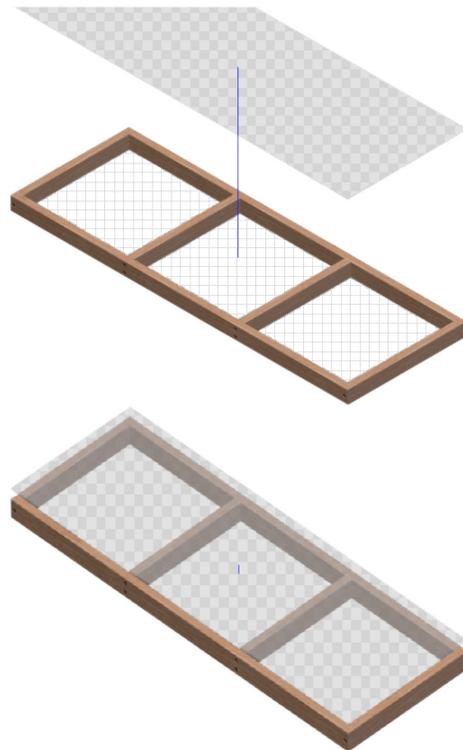
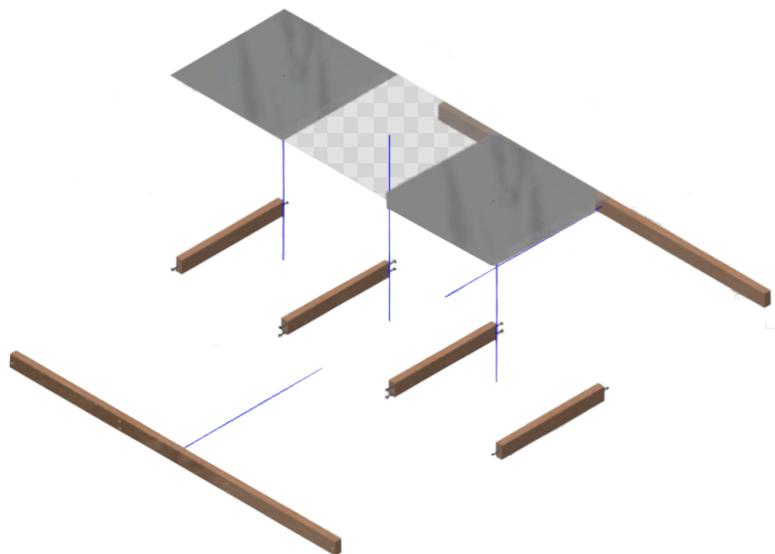


Figura 11: marco sección de salida



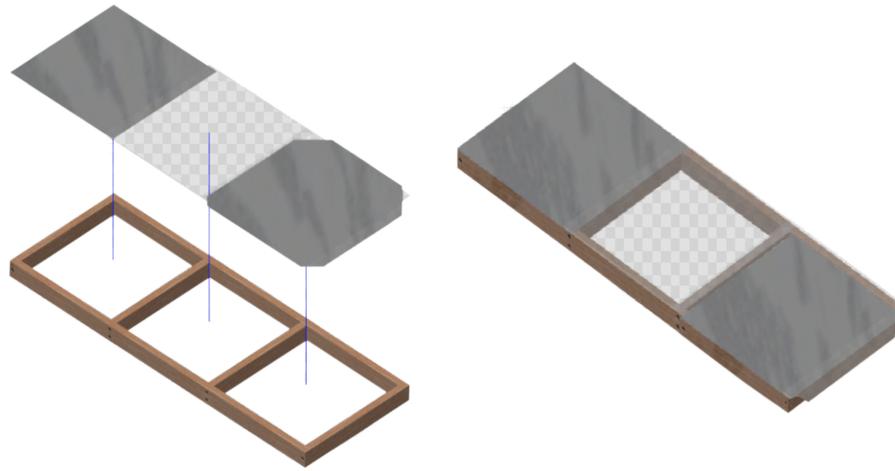
- **Paso 9: fijar malla mosquitera y policarbonato**

En este paso se requiere de policarbonato y malla mosquitera.

- Cortar 2 cuadrados de policarbonato con medidas de 28,5x35,5cm
- Cubrir con malla mosquitera el cuadrado central

Fijar según figura 12.

Figura 12: sección salida de aire



- **Paso 10: sellado con silicona**

Sellar con silicona los bordes del policarbonato. La idea es evitar que se introduzca polvo o agua.

D. Unir el cuerpo

A continuación vamos a unir las tres partes confeccionadas anteriormente, es decir el fondo, los laterales y las secciones de entrada y salida, para ello necesitaremos los siguientes materiales:

Materiales:

14 Tornillos para madera de 6x1,5"

10 Tornillos para madera de 6x2"

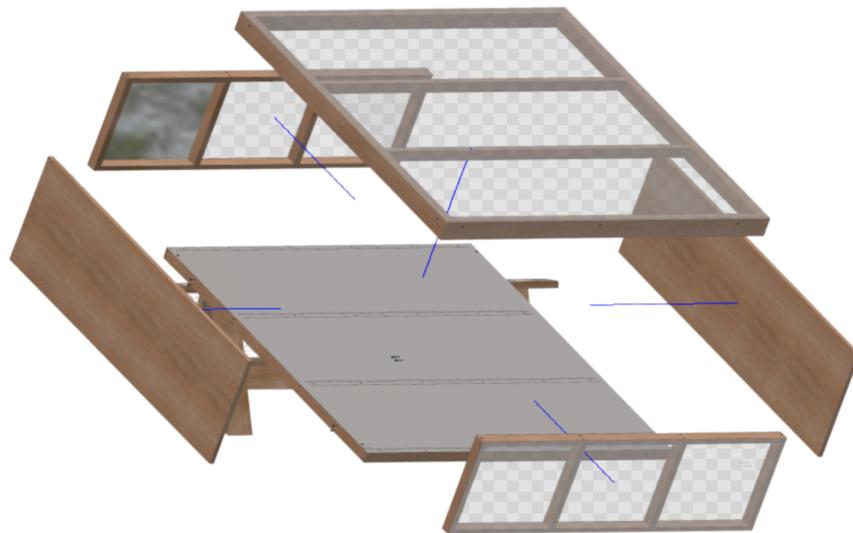
- **Paso 1: unir los laterales al fondo**

Fijar los laterales al fondo con tornillos para madera de 6x1,5"

- **Paso 2: unir las secciones de entrada y salida de aire**

Unir el cuerpo del secador con las secciones de entrada y salida. Para unir la sección de entrada a la estructura se utilizan tornillos para madera de 6x2", dos en el fondo y uno por cada costado. Para la sección de salida se realiza el mismo procedimiento.

Figura 13: unir el cuerpo



ETAPA 2: Cubierta

La segunda etapa consiste en la construcción de la cubierta (tapa) del secador, para lo cual necesitaremos los siguientes materiales:

Materiales:	
2 palos de pino cepillado 2x1"	30 Tornillos autoperforantes para policarbonato de 1"
2 tablas de pino cepillado 1x5"	Pintura Preservante de madera, color a elección, (restante del cuerpo del secador)
1 plancha de Policarbonato	Silicona estándar
32 Tornillos para madera de 6x2"	

- **Paso 1: estructura de la cubierta**

Realizar 6 cortes de pino cepillado de 2x1", con las siguientes medidas:

- 4 cortes de 85 cm
- 2 cortes de 101 cm

Realizar 4 cortes de pino cepillado de 1x5”:

- 2 cortes de 91 cm
- 2 cortes de 101 cm

Ensamblar como la figura 14, fijar los cortes con tornillos de madera de 2”.

*Se recomienda pintar todas las maderas con preservante con el fin de prolongar su vida útil.

- **Paso 2: fijar el policarbonato**

Cortar un rectángulo de policarbonato de 90x101cm.

Sobre la estructura de madera de la cubierta, poner el policarbonato y fijar con tornillos auto-perforantes para policarbonato de 1”. Luego sellar con silicona todos los bordes del policarbonato.

Es recomendable poner perfiles (L) de aluminio por los bordes del policarbonato para asegurarlo mejor. Es importante **no cubrir el borde de la parte inferior, para que así el agua escurra si llueve.**

La cubierta encaja sobre la estructura principal de manera análoga a una tapa de caja de zapatos (con pequeño traslape). Las esquinas pueden ser reforzadas con trozos de zinc galvanizado para darle mayor firmeza a la estructura.

Nota: Es importante que exista la menor holgura posible para asegurar la hermeticidad del secador. Esto evita la entrada de insectos. No olvidar que las chaquetas amarillas se sienten especialmente atraídas por la uva (al hacer pasas) y otras frutas dulces.

Figura 14: estructura cubierta

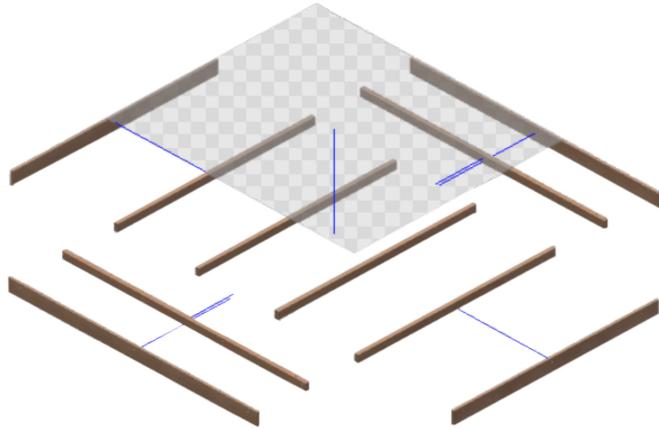
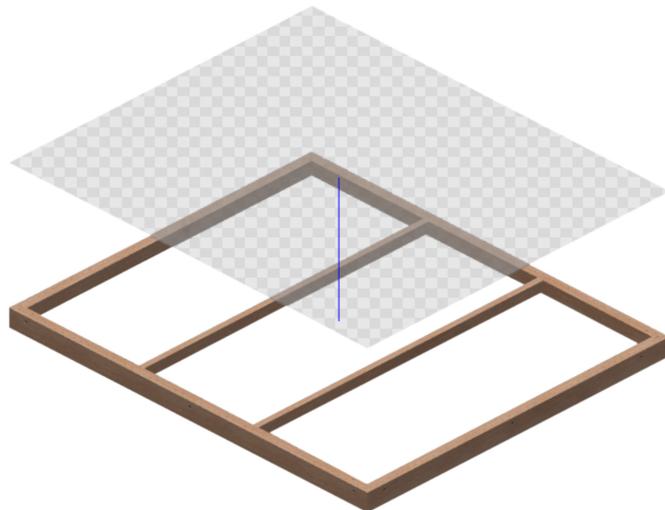


Figura 15: policarbonato



ETAPA 3: Bandejas

La tercera etapa consiste en la construcción de las bandejas que sostendrán los productos que se van a introducir para ser deshidratados. Las bandejas consisten básicamente en un marco de madera sobre el cual se extiende una malla plástica de jardín que se fija con grapas al marco. Para esto vamos a necesitar los siguientes materiales:

Materiales:	
2 palos de pino cepillado 2x1"	36 Tornillos para madera de 6x2"
Malla plástica de jardín de 6x6mm	Pintura Preservante de madera, color a elección, (resistente del cuerpo del secador)
Grapas y engrapadora	

- **Paso 1: estructura de las bandejas (3)**

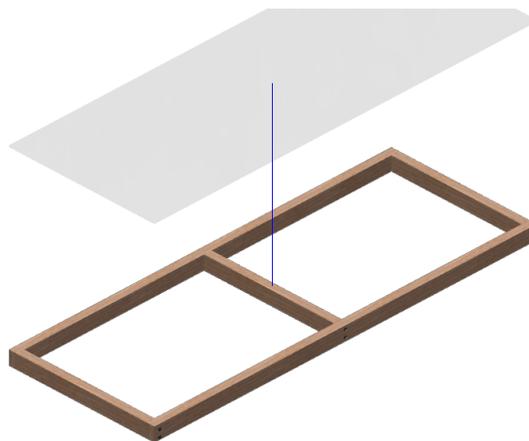
Realizar 12 cortes de pino cepillado de 2x1" con las siguientes medidas:

- 6 cortes de 22 cm
- 6 cortes de 79 cm

Ensamblar los cortes, para formar 3 marcos como la figura 16, fijar los cortes mediante tornillos de madera de 2".

*Se recomienda pintar todas las maderas con preservante con el fin de prolongar su vida útil.

Figura 16: marco bandeja



- **Paso 2: fijar la malla a las bandejas**

Cortar 3 rectángulos de malla plástica de 79 x 22 cm.

Sobre los marcos de madera, fijar la malla plástica con corchetes (mediante una engrapadora).

*De manera adicional, se recomienda fijar un pequeño listón por sobre la malla al marco, para evitar que la fruta se caiga.

Figura 17: malla de bandeja



¡Ya está totalmente construido el secador solar!

ETAPA 4: Caballete

La última etapa del proceso consiste en la construcción de un complemento al secador solar que resulta fundamental para su funcionamiento, ya que permite darle la inclinación necesaria para generar el flujo de aire en su interior y de esta manera remover la humedad de los productos.

Cabe señalar que es posible reemplazar el caballete por cualquier otra estructura que cumpla la función de darle apoyo e inclinación.

Para la construcción del caballete necesitamos los siguientes materiales:

Materiales:

2 palos de pino cepillado 2x1"

16 Tornillos de madera de 6x 1 1/2"

Pintura Preservante de madera, color a elección,
(restante del cuerpo del secador)



- **Paso 1: patas**

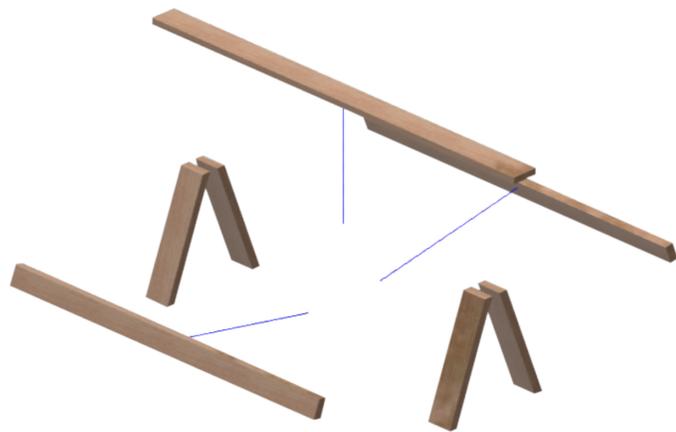
Realizar 6 cortes de pino 2x1" con las siguientes medidas:

- 4 cortes de 62 cm (a estos se sugiere hacerles un corte 15° en ambos lados de forma opuesta)
- 2 cortes" de 105 cm

Tomar dos cortes de pino de 2x1" de 62 cm y fijarlos de forma transversal a un corte de 105 cm con tornillos de 1 1/2". Así quedaran armadas las patas de un lado del caballete. Repetir el mismo procedimiento para el otro lado.

*Se recomienda pintar todas las maderas con preservante con el fin de prolongar su vida útil.

Figura 18: patas del caballete



- **Paso 2: fijar el travesaño**

Realizar 1 corte de pino de 2x1" de 125 cm

Enfrentar las patas armadas en el paso anterior y fijarlas a un corte de pino de 125 cm con tornillos de 2".

Figura 19: travesaño del caballete

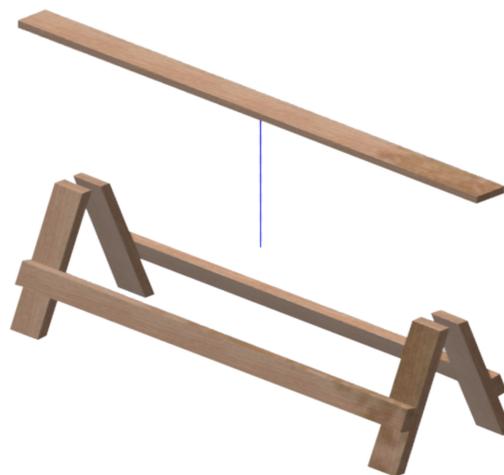


Imagen de secador terminado



V. Uso del secador solar

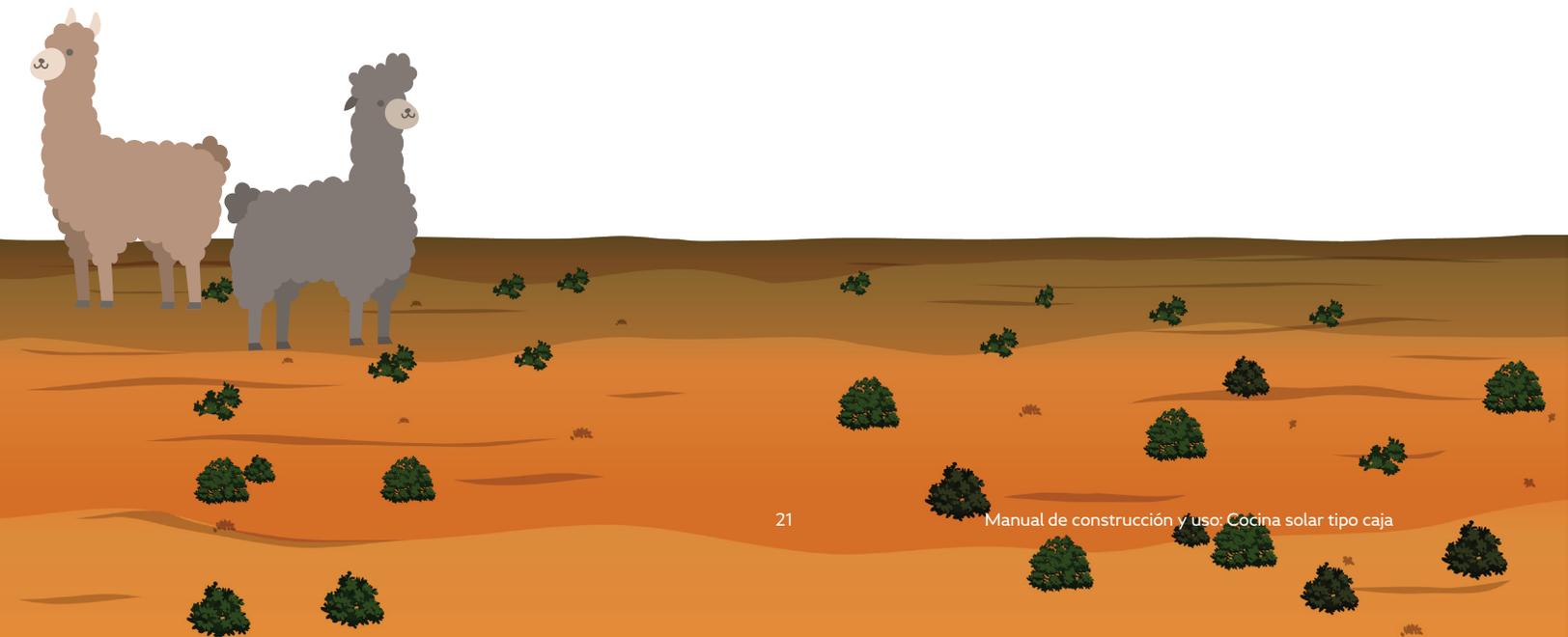
En todos los casos se debe comprender que la cadena total del secado solar va mucho más allá del proceso de secado en sí. Las principales etapas son:

- **Selección y preparación previa del producto:** el producto seleccionado debe tener un estado adecuado de madurez. Productos demasiado maduros no se secan bien (hay exceso de agua). Se deben preparar seleccionando lo que se va a secar y no dejando cantidades muy grandes. En esta etapa es común el corte o picado. Por ejemplo, la manzana se corta en rodajas finas para secarla y para el caso de los duraznos se deben pelar.
- **Tratamientos previos:** básicamente hay dos tipos de tratamiento. En el caso del azufrado (exposición del producto a atmósfera saturada en SO_2) el mismo se usa para evitar pardeamiento y además para conservar mejor el producto. El segundo tratamiento común (que se hace antes del azufrado) es el escaldado en una solución débil de soda caustica. Esta se usa para hacer permeable al vapor de agua la piel cerosa de ciruelas y uvas. Como la ciruela es oscura, después no necesita azufrado. Si uno desea obtener pasa negra, tampoco se azufra.
- **Durante el secado:** aquí lo principal es observar diariamente el proceso y eventualmente rotar bandejas y sacar lo que está ya seco. No es necesario “revolver” el producto. Mientras menos manipulación, mejor.
- **Homogeneización posterior:** una vez seco, el producto se homogeniza de 15 a 30 días en cajas con ventilación de unos 5 kg secos.
- **Envasado final:** en cantidades de 200 a 300 gramos en bolsas de polipropileno. No sirve el polietileno pues este es muy permeable al vapor de agua. No conviene almacenar en cantidades superiores a 300 gramos pues el producto seco no es inactivo. Cuando hay grandes cantidades, se puede producir exceso de humedad en la zona central (por la lenta oxidación natural del producto) y pueden aparecer hongos.
- **Fabricación de otros productos:** el ideal es usar el producto seco en algo elaborado que mejore el valor agregado de lo que se trabaja. Por ejemplo, pasteles, galletas, barras energéticas y otros.

VI. Comentarios finales

En general el secado solar es una excelente opción para deshidratar pequeños excedentes de frutas y verduras. También conviene utilizarlo en el caso de secar hierbas aromáticas o pequeñas cantidades de productos delicados (por ejemplo, flores). Si se quieren producciones mayores (de varios centenares de kilos frescos al mes) es recomendable cadenas de secado con sistemas indirectos.

No se debe olvidar que el secador solar es solo un eslabón en todo un proceso que va desde la selección de productos hasta la etapa final de venta. Si no se tiene la visión completa del ciclo productivo, seguramente se cometerán errores.



VII. ANEXO:

Cortes de madera

Para facilitar el proceso de construcción, a continuación se presenta un resumen de todos los cortes y la cantidad de madera a utilizar.

Materiales:

Cantidad de palos de pino cepillado de 2x1": 9

16 Tornillos de madera de 6x 1 1/2"

Cantidad de tabla pino cepillado 1x5":2

Cortes:

Fondo:

- Pino cepillado de 2x1"
- 2 Cortes de 100 cm
 - 4 Cortes de 80cm

Cubierta:

- Pino cepillado de 2x1"
- 4 Cortes de 85cm
 - 2 Cortes de 101cm
- Tabla de pino cepillado de 1x5"
- 2 Cortes de 91cm
 - 2 Cortes de 101cm

Sección de entrada y salida:

- Pino cepillado de 2x1"
- 8 Cortes de 22cm
 - 4 Cortes de 84cm

Bandejas(3):

- Pino cepillado de 2x1"
- 6 Cortes de 22cm
 - 6 Cortes de 79cm

Este documento fue elaborado por

Roberto Román (Q.E.P.D), Andrés Marconi y Jorge Reyes.

Contacto: contacto@ayllusolar.cl