

17. Ciencia, Tecnología, e innovación

Deshidratado de Ciruelas Eficiente con Energías Renovables

García, José David; Spano, Natalia Virginia

jdgarcialancheros@gmail.com; spano.natalia@gmail.com

Secretaría de Desarrollo Institucional y Territorial

Universidad Nacional de Cuyo

Resumen

Con el 90% del total, Mendoza es el principal productor nacional de ciruela desecada. El 37% de la producción total es secado al sol en paseras, con dificultades para el control de higiene, lo que impacta en la calidad del producto, a su vez se requiere de grandes superficies ociosas durante el año, largos períodos de secado y mano de obra excesiva. El 52% utiliza hornos a gas natural, mostrando la vulnerabilidad del sector por los altos costos del combustible. Las ciruelas secadas en hornos a gas con secado directo suponen restos de combustión en la piel, reduciendo la calidad del producto. El presente proyecto tiene por objetivo diseñar un secador de frutos de carozo con energías renovables, en vinculación con el sector productivo regional, para la mejora de su capacidad exportadora y la diversificación de su matriz energética. Se diseña conceptualmente un dispositivo de secado que complemente, mediante el uso de energía solar y de biomasa residual, el requerimiento térmico de etapa de secado en la producción de la ciruela desecada. Para ello, se relevan pequeños y grandes productores, se miden las variables consideradas más importantes del proceso y se diseña conceptualmente un secador que integre energías alternativas eficientemente. El diseño es escalable y se pretende que sea una opción para pequeños productores que puedan asociarse para obtener beneficios a la hora de secar su producto.

Palabras clave: secado, ciruela, energías renovables, solar, biomasa

Introducción

En la actualidad, el 90% de la producción nacional de ciruela desecada se exporta, siendo Argentina el cuarto exportador mundial. Con el 90% del total, Mendoza es el principal productor nacional. El 37% de la producción total es secado al sol en

paseras, con dificultades para el control de insectos, hongos, roedores y acumulación de polvo en la superficie del fruto lo que impacta en la calidad del producto, a su vez se requiere de grandes superficies ociosas durante el año, largos períodos de secado y mano de obra

excesiva para el cuidado del proceso. El 52% utiliza hornos a gas natural, mostrando la vulnerabilidad del sector por las variaciones en la tarifa y la negativa de ampliación del consumo contratado o de apertura de nuevas bocas de expendio. Las ciruelas secadas en hornos a gas con secado directo suponen restos de combustión en la piel, esto reduce la calidad del producto lo que limita el precio de venta y el acceso a mercados más exigentes.

Con el fin de alcanzar estándares de calidad internacionales se considera necesario homogeneizar los procesos de producción para acceder a mercados con precios diferenciales de productos que certifican orgánico, baja huella hídrica y de carbono (certificaciones que actualmente se realizan en la región) y que presentan políticas de responsabilidad social. Hoy ya existen en Mendoza productores que certifican orgánico debido a las excelentes condiciones agro-climáticas del lugar. Por otro lado, las empresas generalmente son familiares, por lo que el secado en origen le da al productor más tiempo para elegir el mercado al cual acceder, favoreciendo así sus posibilidades de crecimiento económico y brindando mayor previsibilidad.

El presente proyecto pretende diseñar conceptualmente un dispositivo de secado que complemente, mediante el uso de energía solar y de biomasa residual, el requerimiento térmico de etapa de secado en la producción de la ciruela desecada.

Se busca la integración de energías renovables que bajen los consumos energéticos, que junto con un uso eficiente de la energía brinden un aumento en la calidad y en los mercados potenciales del producto. Para ello se requiere la evaluación de diferentes fuentes energéticas, como la biomasa generada en el proceso, impactando en la gestión de residuos agroindustriales, y el potencial solar térmico aprovechable.

Objetivo general

Diseñar un secador de frutos de carozo con energías renovables, en vinculación con el sector productivo regional, para la mejora de su capacidad exportadora y la diversificación de su matriz energética.

Objetivos específicos

- Evaluar las tecnologías usadas para el secado de ciruelas actualmente en la provincia de Mendoza.
- Diseñar y fabricar el sistema de medición que permite censar las variables que intervienen en el proceso de secado.
- Realizar un protocolo de medición para la realización de ensayo.
- Medir y evaluar la eficiencia energética de los secaderos existentes.
- Analizar los datos obtenidos para la viabilidad técnico-económica de la fuente renovable a implementar que se adapte a pequeños y grandes productores.

- Diseñar sistemas para aumentar la eficiencia de los secaderos existentes con la utilización de energías renovables.
- Difundir el modelo diseñado entre los productores locales y contactar posibles interesados en financiar su construcción.

Materiales y Métodos

Al inicio del proyecto se realizó una reunión en INTA Las Catitas, donde asistió personal de esta institución, pequeños productores de ciruela de la zona y personal del Instituto de Energía de la UNCuyo. La intención de la reunión fue tener un primer acercamiento, conocer la problemática y documentar los requerimientos específicos con los que cuentan. Esto brindó un panorama general del estado de los productores y las intenciones de tecnificación y agrupación. Posteriormente, se relevaron fincas de la zona y se relevó la producción por hectárea, cantidad de ciruela fresca contra ciruela seca obtenida (rinde) y variables agronómicas de producción, conociendo además el panorama general de comercialización de la fruta.



Fig. 1: Paseras.

Para medir la temperatura y humedad del sistema de secado se utilizó el equipo datalogger de las siguientes características:

- Display LCD
- Puerto de comunicación para conexión con PC
- Fuente de alimentación
- 4 sondas de temperatura

Rango de medición: 0°C a 100°C

Precisión: +/- 0.5°C

Longitud de cable de sonda: 20m

- 4 sondas de humedad

Rango de medición: 0% a 99%

Precisión: +/- 3%

Longitud de cable de sonda: 20m

Para medir la velocidad de aire en el túnel de secado se utilizaron dos equipos, un tubo pitot con transmisor de las siguientes características:

- Transmisor de caudal de aire, velocidad y presión diferencial

Marca: HK Instruments. Origen: Finlandia.

Rango de medición: 0 a 1000Pa

- Tubo Pitot tipo L

Temperatura de operac.: 0 a 600°C

Diámetro: 6mm

Largo: 500mm

Norma: ISO 3966

Coeficiente: 1,0015+-0,01

Precisión: 1% +- 10°

Calidad: Acero 316 L

Marca: Kimo Instruments.

Origen: Francia.

- Manguera de PVC para medidores de presión diferencial HK Instruments

Longitud: 10m

Y un anemómetro de mano, con las especificaciones a continuación:

- Anemómetro Digital, Velocidad de Viento y Temperatura
- Marca: Atmos.
- Modelo: Skywatch.
- Rango: 1 a 6m/s
- Error: <0,25m/s

Se realizaron mediciones de los parámetros antes mencionados en dos establecimientos, ubicados en San Rafael y en General Alvear.

Establecimiento San Rafael

DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES: La planta cuenta con 10 sistemas de secado en paralelo, cada sistema está compuesto por un quemador a gas natural, una cámara de combustión y un ventilador que conduce el aire caliente a dos túneles de secado. Los túneles poseen un portón de salida de carros, con una abertura en su base de 22cm de altura.



Fig. 2: Túneles de secado, San Rafael

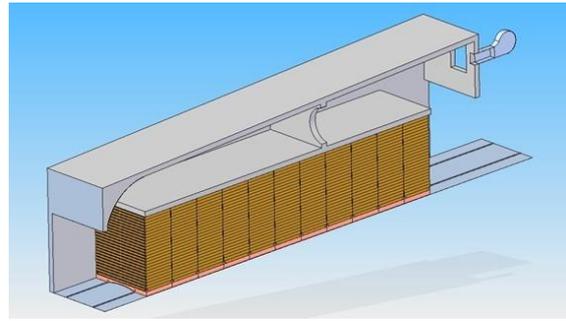


Fig. 3: Esquema de túnel de secado

MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD: Se seleccionó el horno donde se realizaría la medición, considerando el ritmo de trabajo de los operarios, horario de entrada de los carros al horno y facilidad de montaje de los instrumentos de medición.

Se realizaron mediciones de temperatura y humedad en distintos puntos del horno en funcionamiento y simultáneamente, se llevó a cabo el trazado de puntos específicos en el horno aledaño (fuera de funcionamiento) para la medición de caudal, siguiendo el procedimiento propuesto por el manual de uso del Tubo Pitot.

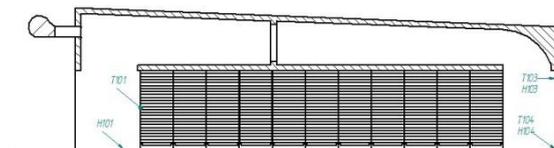


Fig. 4: Instalación de los sensores

Posteriormente, se realiza el montaje de los instrumentos de medición de temperatura y humedad en uno de los carros que ingresará al horno para cumplir el ciclo de secado y así conocer la variación de temperatura y humedad a lo largo del túnel.

MEDICIONES DE VELOCIDAD DE AIRE:

Se decidió realizar las mediciones de velocidad de aire en el Horno 6, debido a que este no se encontraba en funcionamiento. Se encendió la turbina correspondiente al horno 6 y se colocaron 3 carros con producto a fin de ejercer cierta resistencia al paso de aire en los 2 túneles.

Se llevó a cabo de esta forma por dos motivos:

1. No tener exposición directa a las temperaturas de trabajo del horno.
2. Posibilidad de realizar tareas simultáneamente (medición de temperatura y humedad y velocidad de aire).

El horno está compuesto por dos túneles de secado (A y B) que se vinculan mediante una cámara de combustión y ventilador común a ambos.

Se toma la medición en la boca en la sección donde el aire desciende desde la cámara de mezcla hacia la cámara de secado, como se marca en la Fig. 5.

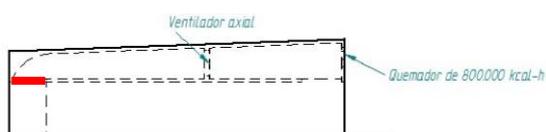


Fig. 5: Corte longitudinal del túnel

En esta sección se confeccionó una grilla de medición compuesta por 30 puntos, las distancias entre estos se tomaron según lo establecido por el catálogo del instrumento, ver Fig. 6.

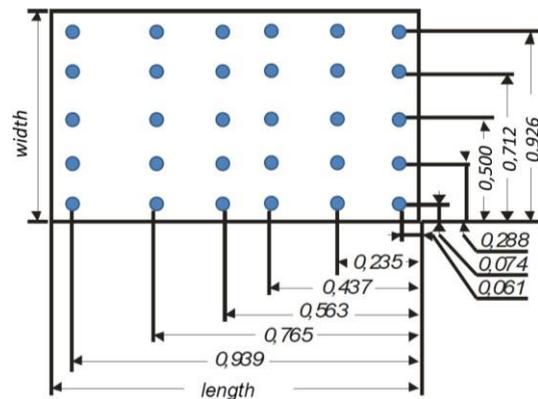


Fig. 6: Localización de los puntos de medición

Establecimiento General Alvear

DESCRIPCIÓN DE LOS TÚNELES: EI

sistema cuenta con un único horno de secado, compuesto por dos túneles en paralelo; estos trabajan en contracorriente a 78°C. Se disponen tres filas de carros por túnel, con bandejas de madera apiladas sobre estos. El portón de entrada de los carros y salida del aire húmedo cuenta con una salida en la base para salida del aire húmedo y aberturas verticales a ambos lados para recirculación del aire. Logran así elevar 3°C la temperatura en el horno.



Fig. 7: Entrada de carros y salida de aire húmedo y quemador

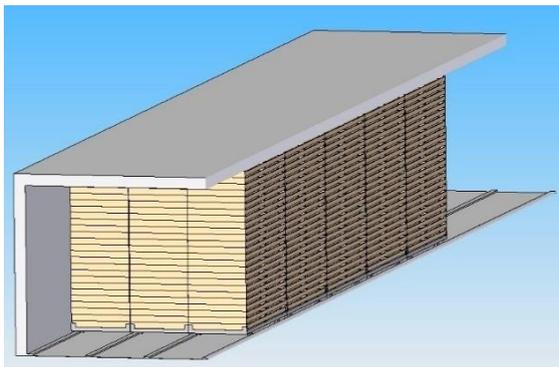


Fig. 8: Esquema de túnel de secado

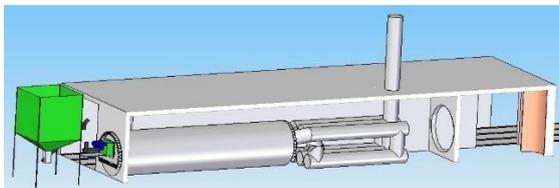


Fig. 9: Esquema de sistema de secado

MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD: Se procede a la medición de temperatura y humedad en la entrada de los carros/salida del aire, mediante sensores instalados en una lanza de 3 metros de longitud, la cual se muestra en la Fig. 10. Se ubica éstos a diferentes profundidades del túnel, en el piso y en el techo.

Se repite el procedimiento para la medición en la salida de los carros/entrada de aire.

Se registra también, la temperatura y humedad del aire ambiente.

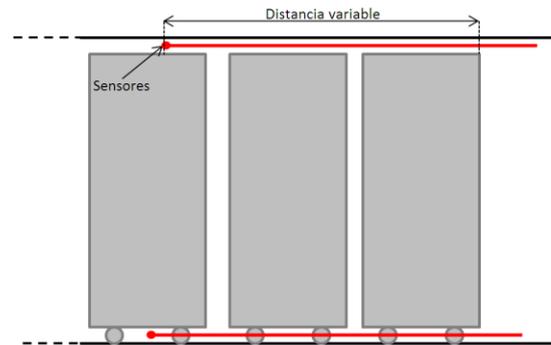


Fig. 10: Instalación de los sensores

MEDICIONES DE VELOCIDAD DE AIRE:

Las mediciones fueron realizadas con el horno en pleno funcionamiento, debido a ello, las altas temperaturas dificultaron las mediciones sobre la sección transversal del túnel. A fin de conocer de manera aproximada el caudal de aire que circula por el túnel, se tienen en cuenta tres caudales, a saber:

- Caudal de aire total (entrada)
- Caudal de aire recirculación
- Caudal de aire de salida

Por lo tanto, se procede a medir en las toberas de entrada (tubos), en la sección inferior de la puerta de entrada y en las secciones laterales de la puerta de entrada.

Resultados y Discusión

Establecimiento San Rafael

A continuación, se muestran los resultados de las mediciones realizadas en el establecimiento de San Rafael.

Tabla 1: Medición de temperatura estática

Minuto	Am- bient e [°C]	Entrad a [°C]	Salida, arriba [°C]	Salida, abajo [°C]
17-37	28,32	82,70	67,05	64,34
38-58	25,36	87,82	74,24	69,56

Minuto	Ambiente [°C]	Entrada [°C]	Salida, arriba [°C]	Salida, abajo [°C]
59-79	24,91	88,11	75,05	67,72
80-100	26,59	89,48	75,92	71,78
101-121	30,44	87,54	74,68	72,20
122-142	32,25	-	70,25	72,20
143-163	35,54	-	70,87	68,86
164-184	35,93	-	75,60	70,34
185-205	36,16	-	72,85	69,03
206-226	35,95	-	-	73,34

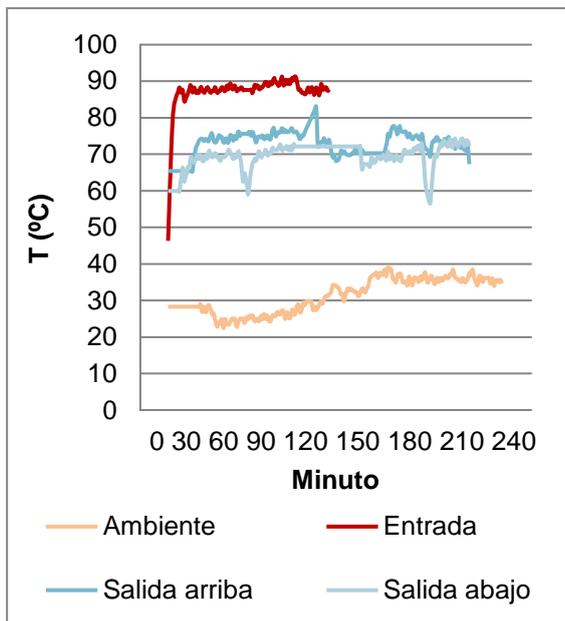


Fig. 11: Medición de temperatura estática

Tabla 2: Medición de humedad estática

Minuto	Ambiente [%]	Entrada [%]	Salida, arriba [%]	Salida, abajo [%]
17-37	40,47	27,39	73,61	58,09
38-58	51,89	14,76	25,38	32,71
59-79	53,57	15,15	23,65	34,83
80-100	43,32	-	22,55	31,58
101-121	30,10	-	21,60	31,40
122-142	26,83	-	23,32	31,40
143-163	27,10	-	24,35	33,25
164-184	27,07	-	24,23	32,80
185-205	27,79	-	23,95	30,99
206-226	29,84	-	25,74	21,84

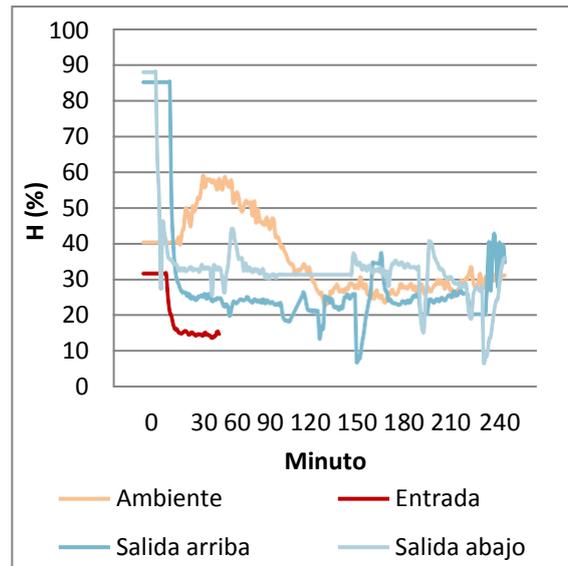
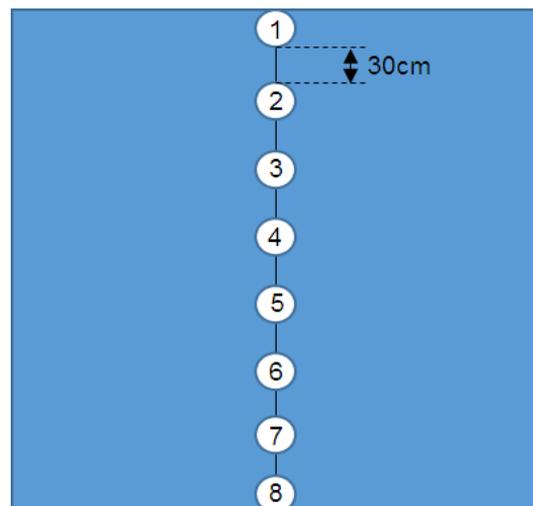


Fig. 12: Medición de humedad estática

Tabla 3: Valores promedio

	Ambiente [°C]	Entrada [°C]	Salida [°C]
Temperatura (°C)	31,14	88,24	71,44
Humedad (%)	35,80	14,96	27,53

Se realiza una medición a la salida del horno de secado, a diferentes alturas a fin de determinar el perfil de temperatura y humedad.



1. Se desestima esta medición debido a no ser confiables los valores obtenidos.
2. $T = 77.1^{\circ}\text{C}$, $H = 27.1\%$
3. $T = 76.4^{\circ}\text{C}$, $H = 23.3\%$

4. T = 75.2°C, H = 23.9%
5. T = 74.2°C, H = 25.5%
6. T = 73.2°C, H = 24.4%
7. T = 73.2°C, H = 24.5%
8. T = 74.0°C, H = 24.6%

$T_{PROM} = 74.51^{\circ}\text{C}$ ($\sigma = 1.85$, $\%_{DES.V.} = 2\%$)

$H_{PROM} = 24.39\%$ ($\sigma = 2.98$, $\%_{DES.V.} = 12\%$)

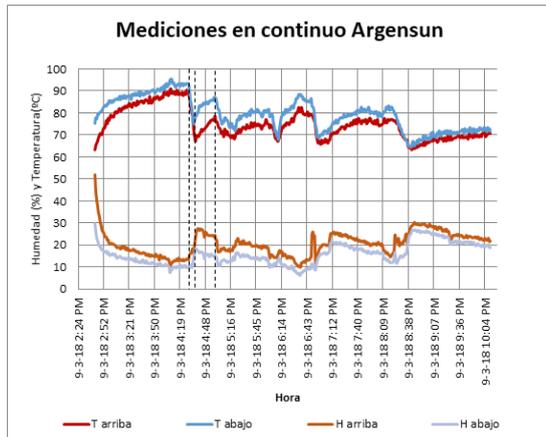


Fig. 13: Mediciones en continuo

En la Fig. 13 se observa la variación de temperatura y humedad a lo largo del túnel. Puede notarse un pico cada vez que se abre la puerta e ingresa un nuevo carro, por ejemplo, en el primer pico se observa que la apertura de la puerta fue de aproximadamente 10 minutos y luego el sistema demora 20 minutos aproximadamente en volver a estabilizarse, como se marca en línea punteada. Estas variaciones se observan a lo largo de todo el túnel pero en menor intensidad a medida que se aleja de las entradas. Se recomienda acortar los tiempos de ingreso y egreso de carros a fin de aumentar la eficiencia del sistema.

Nota: Debido a un corte de electricidad el equipo dejó de grabar las mediciones a las 22:11hs.

En cuanto a medición de caudal de viento, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4: Medición de Caudal de aire

Túnel	Caudal (m ³ /s)
6 - A	14,86
6 - B	12,65
Filtraciones	1,19 (4,33%)

Establecimiento General Alvear

Tabla 5: Características del ambiente

	Temperatura	Humedad
Promedio	31,00°C	37,63%
Desviación estándar	2,35	2,70
% de desviación	7,6%	7,2%

Se mide la temperatura y humedad del aire ambiente y en la entrada y salida del túnel; posteriormente se analiza a través de la gráfica psicrometría la humedad que tendría el aire si se elevara su temperatura a 77°C (temperatura que se alcanza con el intercambiador de calor), como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6: Medición de temperatura y humedad y estimaciones

Punto evaluado	T	H	T	H
	Valores medidos		Valores estimados	
Entrada de aire (salida intercambiador)	77°C	25%	--	--
Salida del túnel (recirculación)	68°C	32%	77°C	24%
Ambiente	Medición promedio		77°C	4%
	31°C	37%		

El aire de entrada al intercambiador es una mezcla entre al aire ambiente y un porcentaje del aire que ha pasado por el túnel de secado (recirculación). Este aire en mezcla es el que ingresa al intercambiador, eleva su temperatura e ingresa a los túneles de secado.

Se grafica en la tabla psicrométrica el aire de entrada y salida del túnel y se observa que este trabaja en una franja de humedad relativa de 10g de agua/kg de aire seco. Del aire confinado en el túnel, un 13,9% está representado por la humedad retirada de las ciruelas.

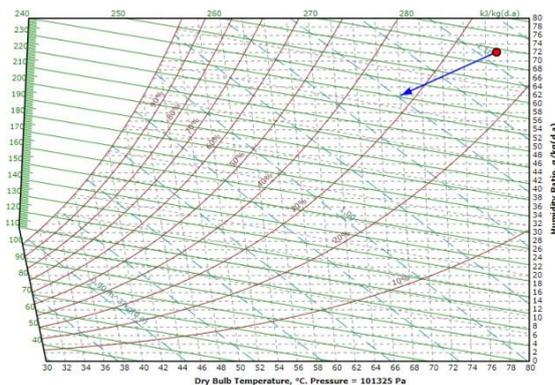


Fig. 14: Comportamiento del aire de secado en el túnel

A continuación, se presenta un análisis de los datos obtenidos por el anemómetro y tubo pitot.

- Las temperaturas siguen un gradiente lógico de disminución de temperatura a medida que las mediciones bajan geométricamente sobre el portón (laterales).
- Se considera que la variación de humedad es bastante irregular entre puntos cercanos de medición. Obteniendo un valor promedio de 58,5% Hr.
- Las mediciones realizadas con el tubo pitot se descartan ya que entregó valores iguales a cero.
- Se observa que el caudal volumétrico de entrada es menor al caudal de salida. No obstante, el aire a la salida

cuenta con el doble de porcentaje de humedad que la entrada.

- El caudal de aire recirculado no se pudo medir debido a la imposibilidad de ingresar al horno por períodos prolongados.

DISEÑO CONCEPTUAL

Se presenta el diseño conceptual de un secador de frutos de carozo que utiliza energía renovable. Se busca diseñar un sistema que aumente la eficiencia de los secaderos existentes y plantear una alternativa para pequeños productores, a través de la asociación y el secado en conjunto mediante un prototipo de mediana escala.

Se pretende también reducir significativamente el porcentaje de producción que actualmente se vende en fresco a los grandes hornos de secado. En este sentido se cree oportuno, debido al carácter público de las entidades participantes favorecer en primera instancia a los pequeños productores, apostando posteriormente que con resultados favorables se pueda extrapolar el diseño a otra escala.

El modelo precalentará el aire mediante un colector solar, este aire, en caso de ser necesario, terminará de calentarse y deshumidificarse con el aporte térmico de una fuente externa factible de acoplar en una cámara de mezclado instalada previamente a la cámara de secado. En primera instancia se propone como fuente

secundaria de aporte de calor la implementación de un quemador de biomasa, sin embargo será la cooperativa la que podrá definir este aporte según sus necesidades y disponibilidad de recursos.

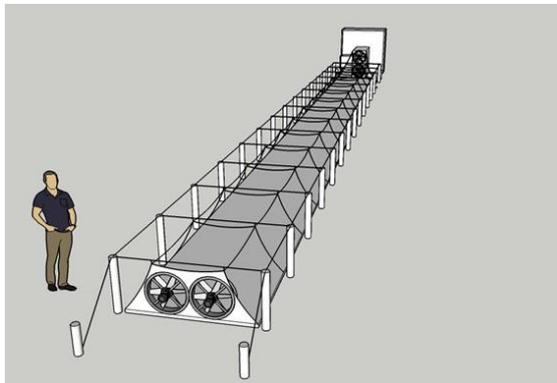


Fig. 15: Esquema del captador solar

Se plantea un diseño modular, escalable, fabricado con containers de 40 pies. Cuenta con entrada superior de aire de intercambio, control de variables calidad de aire de secado y eficiencia de secado. El generador impulsa el aire caliente limpio hacia el secadero, los gases de la combustión no se mezclan con el aire caliente, siendo evacuados al exterior por la chimenea.

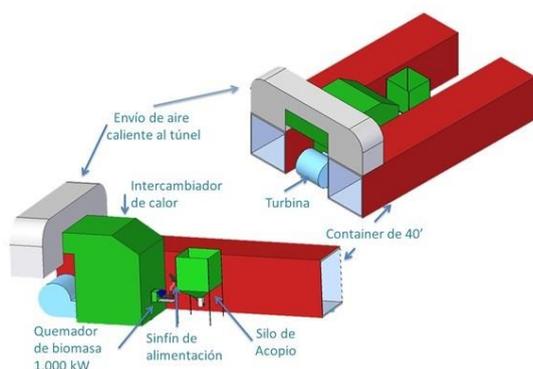


Fig. 16: Esquema del horno de secado

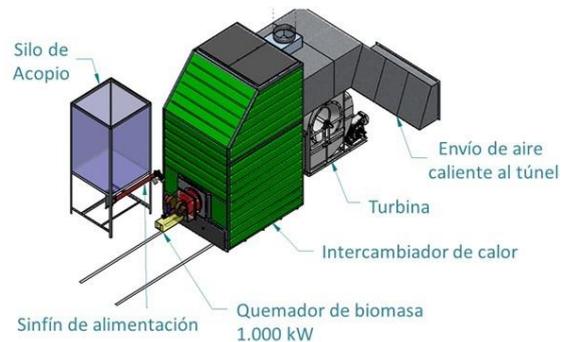


Fig. 17: Esquema del quemador de biomasa.

Fuente: Biotek.

El quemador de biomasa policombustible QBT1000-P de 1.000 kW - 860.000 kcal/h, cuenta con sistema de control e interfaz del usuario. Es apto para funcionar con biomasa granulada, tal como pellets de madera, cascara de nueces, pistacho, carozo de aceituna, etc. Fue cotizado por la empresa Biotek.

Conclusiones

Establecimiento de San Rafael

Se observa que la humedad en la salida es muy baja (se esperaban valores de entre 60-80%), por lo que se presume que el ventilador está sobredimensionado.

Mediante el análisis de los datos, se observa que los túneles 1 y 2 trabajan a mayor temperatura que los túneles 3 a 5 debido a que el quemador es más grande y no cuenta con una buena regulación de caudal de gas por sobretemperatura. Además, estos trabajan a mayor temperatura que los túneles 6 a 10 ya que la toma de aire fresco se realiza desde el galpón donde egresa el aire húmedo. Se supone también que el túnel 1 tiene pérdidas de calor al exterior por su pared

lateral, por ello tiene menor temperatura que el túnel 2.

Las sondas utilizadas tardan más tiempo del esperado en estabilizarse (más de 10 minutos), por lo que es posible que ciertos datos no sean precisos.

Establecimiento de General Alvear

En cuanto a la medición de temperatura y humedad del aire en diferentes puntos del túnel:

- El aire de entrada a los túneles de secado muestra baja eficiencia en el proceso de secado, en concordancia con los tiempos de secado actuales del sistema (24 horas por carro).
- El comportamiento del aire de salida del intercambiador muestra una gran similitud con el aire de recirculación, como se observa en la Tabla 2, suponiendo un mal funcionamiento del intercambiador o un alto porcentaje del aire de recirculación, reflejado en la baja eficiencia del secadero.
- Se considera ineficiente la abertura para recirculación que se encuentra dentro del túnel debido a que, al ser vertical, esta toma aire de salida con todo el perfil de temperaturas y humedades con las que se cuenta en el túnel. Se propone tomar aire sólo de la parte superior, a fin de captar el aire más caliente y seco. Lo mismo sucede con las aberturas laterales del portón, se infiere que sería beneficioso que sólo tenga una abertura inferior.

Bibliografía

- Maupoey, P. F., Andrés Grau, A. M., Barat Baviera, J. M., & Albors Sorolla, A. M. (2016). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Valencia: Universitat Politecnica de Valencia.
- Cámara de comercio exterior de Cuyo. (2015). Información sobre mercados latinoamericanos. Mendoza.
- Corral, M. C. (2014). Concentración y poder de mercado en el sector frutícola de Mendoza. Mendoza: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Cuyo.
- Maroto, C. (2015). Pastas secas con secado solar. Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional.
- Urfalino, D. (2012). Ciruelas Pasas. Rama Caída, Mendoza: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Congreso Nacional Argentino. (1971). Código Alimentario Argentino.

Agradecimientos

Empresa Biotek, Eficiencia Energética.
Argensun.
Jaime Prat.

Financiamiento

Proyecto financiado por la Secretaría de Políticas Universitarias "Universidad Agregando Valor" 2016, por un valor de \$93.800.