



## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SECADORES SOLARES DESTINADOS A LA PRODUCCIÓN DE CARNE DESHIDRATADA<sup>1</sup>

MIGUEL CONDORI

INENCO, Instituto UNSa-CONICET  
Universidad Nacional de Salta,  
Calle Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina  
Fax:54-387-4255489, Email:condori@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Se presentan el diseño y los aspectos constructivos de tres secadores solares portátiles que se utilizan para la producción de carne deshidratada. Los secadores se diferencian por su capacidad de carga y la forma de producir la circulación del aire. Dos son de circulación forzada, con capacidad para 10 y 40 kg de carne, y un tercero para 10 kg, tiene circulación natural asistida por un extractor eólico. En la construcción se utilizaron materiales que facilitan la limpieza y conservan la higiene durante el proceso, como policarbonato, acero inoxidable y pvc. También, se utilizaron filtros de aire para evitar la contaminación de la carne con partículas de polvo de la zona de operación. La elaboración del charqui se realizó en forma artesanal, obteniéndose productos secos de muy buen aspecto, aceptabilidad y calidad higiénica. Los equipos son capaces de producir carne deshidratada en aproximadamente dos días de radiación solar.

**Palabras clave:** energía solar, secado solar, secador, charqui.

### INTRODUCCIÓN

Como parte de dos convenios de colaboración y transferencia de tecnología realizados por el INENCO-Universidad Nacional de Salta con el Programa Regional Camélidos Sudamericanos (PRORECA) de Bolivia y el Grupo de Artesanos San Pedro Nolasco de los Molinos de la provincia de Salta, se han desarrollado hasta el presente seis prototipos de secadores solares portátiles para la producción de carne deshidratada, que por sus características corresponden a tres tipos bien diferenciados: a) un secador de convección forzada con precalentador de aire para una carga de 40 kg, b) un secador de convección forzada con una capacidad de carga de 10 kg de carne fresca y c) un secador similar al anterior, con la misma capacidad de carga, pero con convección natural aprovechando el recurso eólico de la zona de producción.

En el altiplano sudamericano, que incluye al norte argentino, se consume habitualmente carne deshidratada de vacunos y camélidos, producto que se conoce con el nombre de charqui. El charqui elaborado en forma tradicional se obtiene colgando grandes trozos de carne de espesor delgado, previamente salados con salazón seca, bajo la sombra del alero de una casa o un árbol frondoso. Este tipo de charqui requiere varios días de exposición a las condiciones ambiente, tiempo que suele ser del orden de dos semanas. Existe una variante de este producto seco que corresponde al secado de carne con huesos, por ejemplo costillares, que se comercializa con el nombre de chalona. El tiempo que se requiere para la producción de chalona es mucho mayor que para el charqui.

En Salta y Jujuy, la elaboración de charqui de llama es menos habitual que el de carne de vaca, pero presenta buenas perspectivas de comercialización ya que es un alimento nutritivo con niveles reducidos de colesterol, siendo saludable su consumo. Actualmente, el consumo de charqui está restringido a la zona de producción y la factibilidad de extender su comercialización depende fundamentalmente de tres factores: a) el cumplimiento de normas higiénicas durante el proceso de elaboración, que incluye la conservación de los contenidos químicos y microbiológicos requeridos por los organismos de control, b) la obtención de un producto seco final con aspecto y gusto aceptables por los potenciales mercados, lo que plantea la variación del porcentaje de sal o la incorporación de especias y c) la adecuada conservación de las propiedades del producto seco y la determinación de la fecha de vencimiento del producto en función del tipo de envase utilizado.

Como objetivo general de estos convenios, se planteó el desarrollo de un microemprendimiento socio-productivo que puede ser replicado en zonas con buen recurso solar, y que permitirá la conservación de distintos tipos de carnes de producción doméstica. En una primera etapa se buscó cumplimentar los siguientes objetivos específicos:

1. La producción de charqui elaborado con carne, de vaca o llama, rebanada en filetes, desgrasada, saladas con salazón seca y deshidratada en secadores solares.
2. El desarrollo de secadores solares con convección natural y forzada, para pequeña escala de producción. Estos equipos deben contar con la tecnología adecuada para producir carne deshidratada de muy buena calidad, en óptimas condiciones de higiene y optimizando el tiempo de secado.

<sup>1</sup> Parcialmente financiado por el CIUNSa y el CONICET

La optimización del proceso de deshidratación solar permite disminuir considerablemente el tiempo de secado respecto de la forma tradicional y conservar gran parte de los valores nutritivos de la carne fresca. Por el contrario, el empleo de tiempos prolongados y la exposición innecesaria a temperaturas elevadas disminuye el valor de proteínas, el contenido de vitaminas de la carne y aumenta la oxidación de las grasas.

Además, si se consideran los gastos de transporte, mano de obra y almacenamiento del producto fresco, la posibilidad de contar con un equipo de secado ubicado próximo al criadero determina una importante diferencia en la ecuación económica final. Los secadores propuestos, son económico frente a los equipos convencionales y permitirán que pequeños y medianos criadores, que actualmente sólo comercializan la carne fresca y el cuero de animales como vaca, cabra, cordero, conejo, etc., tengan una nueva opción de comercialización incorporando valor agregado al producto cárnico.

En el presente trabajo se describen los aspectos que tienen que ver con el diseño y la construcción de los tres secadores solares desarrollados para la elaboración de carne deshidratada, y los resultados obtenidos hasta el presente con la utilización de estos equipos.

## PAUTAS DE DISEÑO

Se desarrollaron y construyeron tres tipos de secadores, diferenciados de acuerdo a su capacidad de carga y a los elementos constitutivos que se requirieron para asegurar la prestación en distintas condiciones de funcionamiento. Primeramente se describe un secador solar con circulación forzada de aire que tiene una capacidad de carga para 10 kg de carne fresca (SF10), también se construyó una versión más grande, de 40 kg de capacidad de carga, que requirió el acople de un colector solar precalentador del aire (SF40) y finalmente un secador solar de 10 kg de capacidad pero con circulación natural de aire asistido por un extractor eólico (SN10).

Todos los equipos desarrollados se construyeron portátiles y livianos lo que permite que sean transportado sin dificultad por dos personas durante un pequeño trayecto o quepan en la caja de una camioneta si es necesario llevarlos un trayecto más largo. Se eligió la confección de equipos portátiles fundamentalmente por dos razones: a) el mismo equipo puede ser utilizado por mas de una familia de un pequeño grupo productivo que viven en zonas dispersas, como es el caso de los criadores de llamas del altiplano; b) la capacidad de carga de los secadores se dimensionó para que sean cargados con los cortes blandos de una sola llama, si se trata de los secadores chicos, o entre tres y cuatro llamas en el caso del secador grande. Este nivel de producción se adecua a la realidad actual de los productores.

Los tres secadores tienen una cámara de secado de 2 m<sup>2</sup> de planta, aunque diferentes alturas. El área de captación permite que la temperatura en el interior no sobrepase los 50 °C aún en los horarios de radiación pico. Con estos equipos se requieren, en condiciones normales, dos días de sol para la obtención de charqui con un rendimiento aproximado de 1 kg de producto seco por 3 kg de fresco. Es decir que en producción continua un equipo chico es capaz de procesar alrededor de 120 kg de carne fresca por mes, si se cuenta con los días de sol correspondientes. Este valor corresponde al faenado de 10 llamas mensuales por secador, número adecuado para los criadores existente. En el cálculo se considera que se utiliza para el charqui sólo los cortes blandos del animal y el resto se destina para la producción de chalonga en el secador grande. La densidad de carga de carne fresca es de aproximadamente 5 kg/m<sup>2</sup>, considerando un espesor de corte de 1 cm aproximadamente.

El SF10, utiliza un extractor de aire eléctrico que circula un caudal de 400 m<sup>3</sup>/hr, que cae a un 25 % aproximadamente, debido a las pérdidas de carga que se producen en el interior, siendo la más grande la correspondiente a un filtro de aire colocado en la boca de entrada. La carne se dispone en la cámara en un solo nivel de bandeja, por lo que se produce calentamiento por convección sobre las dos cara de la carne, lo cual mejora la velocidad y uniformiza el secado final. En el secador se permite la incidencia de la radiación solar sobre la carne, lo cual favorece también la velocidad de secado.

El caudal de aire que circula en la cámara es equivalente a un flujo másico de aire de  $\dot{m}_a = 0,03 \text{ kg/s}$ . Aplicando la ecuación de la eficiencia térmica de un colector solar a la cámara de secado sin carga, es decir

$$\eta = \frac{\dot{m}_a C_p \Delta T}{A_c I}, \quad (1)$$

y considerando los siguientes valores de diseño para la eficiencia  $\eta = 0,30$ , el calor específico el aire  $C_p = 1 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$ , el área de colección  $A_c = 2 \text{ m}^2$  y la radiación total sobre plano horizontal  $I = 500 \text{ W/m}^2$ , se obtiene un salto de temperatura promedio  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ . Este se puede considerar un valor medio ya que la radiación computada es el valor medio diario para una radiación de 18 MJ/día. Con una radiación pico de  $I = 1000 \text{ W/m}^2$  el salto de temperatura que se obtiene es  $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ .

Si se considera una temperatura ambiente de entrada de 20 °C, la temperatura media de salida se encuentra en promedio por debajo de la temperatura límite de la carne. Sólo en días muy cálidos y de alta radiación, la temperatura del secador puede llegar a niveles peligrosos para el secado de carnes. Cuando el secador está cargado la temperatura en la cámara es menor

debido a que se produce un enfriamiento por la energía que se utiliza en evaporar el agua contenida en la carne. La temperatura de secado aumenta a medida que avanza el proceso, pudiendo alcanzar el valor límite sólo cuando el producto se ha secado. Es decir que en condiciones normales de funcionamiento sólo se requiere de la intervención de un operario para retirar del secador el producto cuando se alcanza el contenido de agua requerido. Una falta de control producirá una sobre exposición a la radiación y ocasionará que la carne se queme. Este control se efectúa en forma visual y resulta un método seguro para un operador experimentado, ya que es fácil seguir los cambios de consistencia y color que se producen en la carne deshidratada.

Para no exigir el motor del extractor y debido a que el potencial de secado nocturno es mínimo, sólo se considera un funcionamiento de 10 horas por día para el secador. Durante la noche las bandejas con carne semi seca pueden retirarse del secador y ser colocadas en el interior de la vivienda, a resguardo de las inclemencias del tiempo y para evitar la rehidratación del producto. La posibilidad de deterioro durante la noche es mínima, ya que la pérdida de peso durante el primer día de secado es lo suficientemente alta y la posible rehidratación suele ser pequeña.

El SN10 fue diseñado para funcionar sin un motor eléctrico, con convección natural. En una chimenea solar la velocidad del flujo de aire es función de la temperatura de la cámara de secado. Un secador con poco tiraje resulta en baja extracción del aire húmedo lo que favorece la formación de hongos sobre el producto o, si el producto está medio seco y la radiación es alta, en elevadas temperaturas que pueden llegar a quemarlo. Para mejorar el tiraje de una chimenea simple se acopló a esta un extractor eólico, asegurando el movimiento continuo de aire en el interior a partir del viento externo. Durante el día el extractor brinda un suplemento adicional aumentado el caudal de salida de la chimenea. De esta forma, se cuenta con un sistema integrado que permite extraer la humedad del secador en forma continua y trabajar aún en días con baja radiación solar incidente.

El secador SF40 fue diseñado para una carga mayor, pensando en el secado de los costillares y el resto de la carne con huesos que se obtiene del faenado de las llamas. Debido al aumento de carga, este secador necesita de un colector precalentador de 2 m<sup>2</sup> de área de colección, que eleva la temperatura de entrada a la cámara en aproximadamente 10 °C, en promedio, respecto de la temperatura ambiente. Ambas partes son desmontables, lo que facilita su traslado. Los laterales de la cámara de secado son de material transparente para aumentar la captación de radiación por parte de la carne misma y mejorar el potencial de secado por el aumento de la temperatura del producto. Se utiliza un ventilador potenciado del doble de caudal que el del secador chico.

Otras ventajas de diseño de estos secadores, tienen que ver con el uso de filtro de aire que permite trabajar con aire limpio de partículas de polvo. También, todas las zonas de los secadores son de fácil acceso permitiendo la limpieza de sus partes después de cada operación de secado. Se ha previsto un pequeño conducto para el desagote de sangre, que puede ocasionalmente acumularse en el piso de la cámara durante las primeras horas del proceso, especialmente si no se ha dejado transcurrir el tiempo suficiente para que se produzca el sangrado por acción de la salazón antes de la carga del secador. De no desalojarse oportunamente la sangre del interior de la cámara de secado, se utilizará inadecuadamente la energía disponible en líquidos que se pueden extraer del secador fácilmente por gravedad, lo cual aumentaría el tiempo final de secado.

## ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El SF10 tiene 1 m de ancho, 2 m de largo y 14 cm de alto. Tiene una capacidad de carga para aproximadamente 10 kg de carne fresca dispuesta en un solo nivel de bandejas, y permite la incidencia directa de radiación solar en la cámara de secado a través de una cubierta superior transparente con 2 m<sup>2</sup> de área de captación solar. La estructura se confeccionó soldando caños de sección cuadrada de 20 mm de lado. Para revestir la cara interna de la estructura se plegó una sola chapa de acero inoxidable de 0,5 mm de espesor. Se aisló por el fondo y los laterales colocando placas de poliestireno expandido de 20 mm de espesor y luego se colocó chapa galvanizada lisa N° 27 para recubrir el exterior, quedando el aislamiento entre las dos chapas, que se sujeta a la estructura con remaches. Se utilizó policarbonato alveolar transparente de 8 mm de espesor para la cubierta superior. Para el correcto cierre entre la estructura y la cubierta se colocó sellador adhesivo del tipo siliconado transparente, y luego perfiles ángulos de chapa galvanizada plegada aseguradas a la estructura con remaches.

El bastidor para las bandejas donde se coloca la carne, es un cuadrado de 1 m de lado, que se construyen con caño rectangular de 20x10 mm de sección. Sobre el bastidor se coloca una malla plástica de alta resistencia con una cuadrícula de 2 cm de lado, que se sujeta mediante perfiles de chapa de acero inoxidable plegada, de tal manera que cubra el ancho del bastidor, evitando el contacto del hierro con la carne. El perfil, la malla y el bastidor se presionan con remaches cortos. La cámara de secado lleva dos de estas bandejas que se desplazan fácilmente sobre rieles contruidos con ángulos de aluminio y colocados con remache a una altura de 5 cm del piso.

En la abertura correspondiente a la entrada de aire se coloca una puerta rebatible, que tiene un filtro de aire que ocupa toda su extensión. En la otra abertura, que corresponde a la salida de aire, se coloca un módulo construido con caño y chapa donde se ubica un pequeño extractor eléctrico caracol potenciado del tipo que se utiliza en los equipos de purificación de aire. El extractor es de muy bajo consumo eléctrico, 1/10 HP, que con un funcionamiento diario de 10 horas implica una muy baja incidencia en el gasto habitual de una casa. El módulo de salida y la puerta de entrada son totalmente desmontables, lo que permite el acceso a la cámara de secado por ambos extremos sin dificultad, facilitando la carga-descarga y la limpieza del interior. Cuando se los unen a la estructura de la cámara, quedan sujetos con broches metálicos y se colocan burletes de goma para mejorar el cierre en el circuito de circulación de aire. A la salida del extractor se coloca un sombrerete de ventilación

para proteger al motor del extractor de posibles daños por agua de rocío. Todos los caños y la chapa exterior del secador se pintan convenientemente para su protección. En la figura 1 se muestra una foto de los secadores SF10 y SN10.



*Figura 1: A la izquierda el secador SN10 sin su puerta de entrada con filtro de aire. Se observa la chimenea y el extractor eólico. A la derecha el secador SF10 con motor eléctrico. Ambos secadores están cargados con carne.*

El SN10 se diferencia del anterior en que tiene un sistema de extracción natural del aire. Para la chimenea se utiliza un caño de 15 cm de diámetro, de chapa galvanizada pintado de negro mate, con pintura resistente a altas temperaturas. En la parte superior se coloca un extractor eólico con boca de 15 cm de diámetro. Este extractor proporciona una salida de aire próximo a los 300 m<sup>3</sup>/hr con vientos superiores a los 10 km/hr y una diferencia de temperatura de más de 15 °C entre el interior de la cámara y el ambiente. La zona de Molinos, Salta, presenta una media de vientos alrededor de estos valores, por lo que el equipo instalado allí tiene durante el día una prestación menor que la del motor eléctrico. Pero, debido a la baja humedad del aire ambiente, el equipo puede seguir secando durante la noche con la ayuda de las brisas nocturnas, por lo que en termino medio las prestaciones son similares en lo que respecta a la velocidad de secado.

A diferencia de los otros dos, el SF40 tiene una cámara de secado de 50 cm de alto. Salvo la puerta trasera, que es de carga y descarga de las bandejas, las otras caras son transparentes a la radiación, construidas con policarbonato alveolar. En el interior de la cámara se pueden ubicar ocho bandeja de secado en cuatro niveles. El piso de la cámara y la puerta de carga se construyen de acero inoxidable. Debido a que este secador tiene más pérdidas de cargas, se utiliza un extractor eléctrico potenciado con un caudal de 900 m<sup>3</sup>/hr, colocado en el techo de la cámara de secado próximo a la puerta de carga. Con el secador cargado el caudal cae a 200 m<sup>3</sup>/hr, aproximadamente.

El colector precalentador tiene una construcción parecida en cuanto a las dimensiones y los materiales que el SF10, sólo que para el revestimiento interior se utilizó chapa galvanizada, que se pintó de negro mate para mejorar la captación de la radiación. La puerta con el filtro de aire se coloca en una de las aberturas del colector mientras que la otra se ensambla a la cámara de secado. Se colocan burletes de goma y ganchos metálicos para lograr el adecuado ensamble y cierre de las dos partes.

## **DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR**

A continuación, se determinarán los valores promedios de las variables operativas que importan en el proceso. En este dimensionamiento se utilizan ecuaciones sencillas de diseño, balances simplificados de energía y masa y datos de velocidad de secado obtenidos a partir de una curva de secado de un ensayo con el prototipo SF10.

En la figura 2, se grafica la curva de secado para una muestra de 103 gr de carne de vaca, sometida a condiciones ambientes similares a las utilizadas en el diseño. Sólo se han registrado las diez primeras horas de funcionamiento, correspondientes al primer día de secado. Se observa que la muestra ha perdido aproximadamente 43 gr de agua en este lapso de tiempo, lo cual representa más del 50 % de su contenido de agua inicial. En la figura 3, se muestran los datos de temperatura y radiación ambientes correspondientes a esta experiencia.

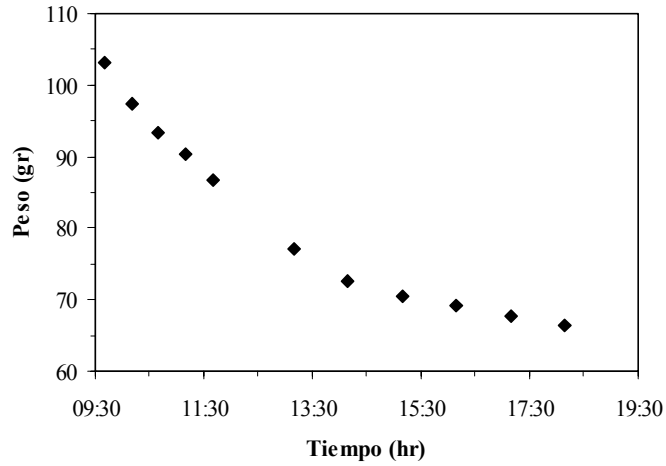


Figura 2: Curva de secado de charqui de vaca. Los registros correspondientes al primer día de funcionamiento. Peso inicial de la muestra 103 gr, peso final 43,4 g con un contenido de agua en base seca de  $X = 0,22$ .

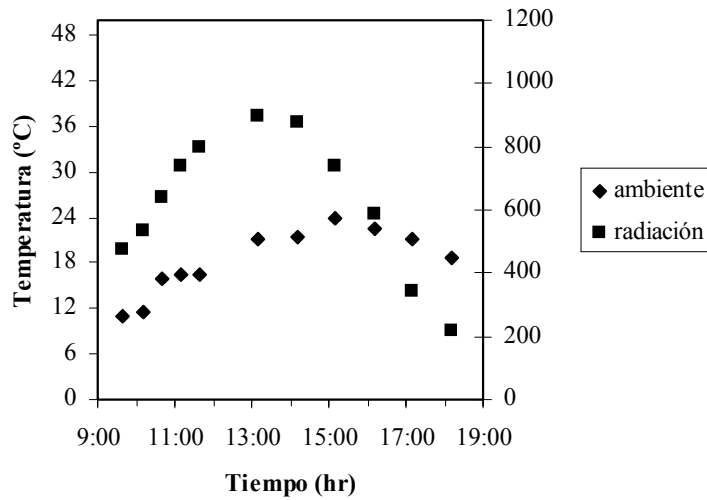


Figura 3: Datos de radiación y temperatura ambiente correspondientes a la curva de secado de la figura anterior.

En la figura 4 se muestra la velocidad de secado  $m_w$ , o la pérdida de agua por unidad de tiempo, que se obtiene con los puntos ajustados de la curva de la figura 2.

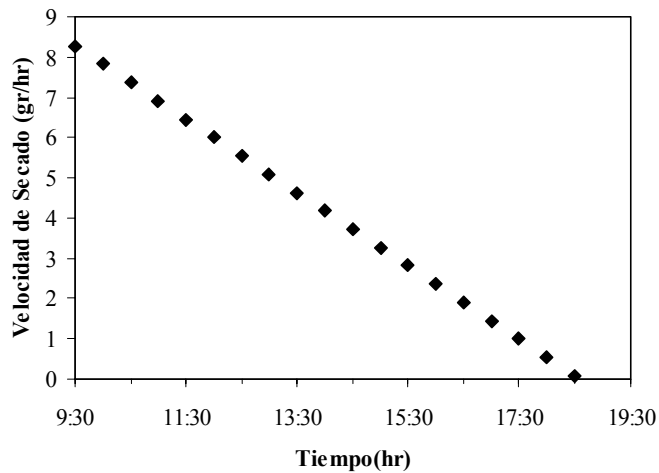


Figura 4: Velocidad de secado del primer día, para la muestra de 103 gr de carne, expresada en gr/hr.

Esta velocidad está relacionada a la pérdida de peso por la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_w = -\frac{dP}{dt} \quad (2)$$

Para la muestra, inicialmente la carne pierde aproximadamente 8 gr de agua en la primera hora de funcionamiento. Esta velocidad decrece a lo largo del proceso debido a que el agua interna se encuentra en estado cada vez más ligado a la estructura, haciéndose nula la extracción en las primeras horas de la noche. A los fines de extrapolar estos resultados para una carga de 10 kg, se considera el valor promedio del día menos un 10 % debido a la disminución que se produce en la pendiente el segundo día. Es decir, se toma como velocidad de secado de diseño  $\dot{m}_w \approx 360 \text{ gr/hr}$ .

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \Delta W \quad (3)$$

Dimensionada la velocidad de secado y a partir del balance de masa del agua para el aire en la cámara de secado, ecuación (3), es posible calcular el aumento en la humedad absoluta que se produce a la salida del secador, es decir los gramos de agua que se incorporan en cada kilogramo de aire. En el caso del secador con 10 kg de carga, ésta es  $\Delta W = 3,3 \text{ gr/Kg}$ .

Finalmente, la temperatura de salida del secador con carga, se determina a partir del siguiente balance de energía:

$$\eta A_c I = h_v \dot{m}_w + \dot{m} C_p \Delta T \quad (4)$$

donde se considera que la energía útil del secador se utiliza en la evaporación del contenido de agua de la carne y existe un remanente incorporado en el flujo de aire que se pierde como calor sensible cuando el aire abandona el secador.

Con las ecuaciones (3) y (4) se pueden determinar los valores para la temperatura y humedad absoluta de salida del secador a fin de representar el proceso en un diagrama psicrométrico. La temperatura de salida varía a lo largo del proceso siendo  $\Delta T = 2.5^\circ C$  para el valor medio de radiación.

## CONCLUSIONES

En Salta, el secado de carnes tradicional se realiza a la sombra y a temperatura ambiente en aproximadamente dos semanas de exposición, obteniendo bajas ganancias en el producto seco final, debido a las pérdidas por contaminación con polvo y el deterioro del producto mismo.

Los secadores solares presentados posibilitaron una mejora de la calidad del producto seco y el tiempo de secado a un promedio de dos días, mejorando también el precio final de comercialización. La inversión inicial no es alta, se utilizan elementos de fácil obtención en la zona y la tasa de retorno es buena, ya que el equipo permite su amortización con un funcionamiento durante todo el año. Además, los sistemas desarrollados se integran perfectamente con una explotación de criaderos de ganado que ya está en desarrollo.

En el caso del secador con convección natural, se obtiene una mejora del tiraje utilizando un extractor eólico el cual se coloca directamente a la salida de la chimenea. Como las pérdidas de cargas de estos dispositivos son mínimas, el caudal se suma y permite el funcionamiento del sistema aún en horarios nocturnos, obteniéndose en promedio diario la misma velocidad de secado que los equipos con motor eléctrico.

Los equipos se encuentran actualmente en operación y la producción se destina a los locales de venta de comidas regionales de la provincia de Salta. Los análisis realizados al charqui que se obtiene con los equipos muestran un producto totalmente libre de contaminación, de muy buena calidad, aspecto y sabor. Se trabaja también con la colección de datos medidos a fin de caracterizar el funcionamiento de los secadores y elaborar un modelo validado del proceso.

## REFERENCIAS

Duffie J. A. Y Beckman W. A. (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª. Edición, pp. 174. Wiley Interscience, New York.

Roman R., Corvalan, R, Horn M., Roman R. y Saravia L. (1992). *Ingeniería del Secado Solar*, CYTED.

**ABSTRACT.**- In this work, the design and construction aspects of three portables solar driers are presented. These drier are used in the dehydrated meat production. They have different load capacity and air circulation. Two driers works with forced flow and have 10 and 40 kg of capacity. The third has a load of 10 kg and work in natural convection assisted with a wind ventilator. The materials used in the construction: polycarbonate, rust proof steel and pvc, permits the easy cleanness and the process hygiene conservation. Also, air filters to avoid the dust meat contamination are used. The charqui production was performed in manual form obtaining a dried product with very good aspect and high quality. The developed equipments are be able to produce dehydrated meat in approximately two sun day.

**Keyword:** solar energy, solar drying, drier, charqui.