

EL DESHIDRATADO DE LOS FRUTOS DE ALGARROBA (*PROSOPIS ALBA*). ANÁLISIS COMPARTIVO ENTRE SECADERO SOLAR Y METODOS TRADICIONALES DEL NOA

I. Cruz¹, J. Sauad², M. Condori³

Universidad Nacional de Salta- Cátedra de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales - IRNED

INENCO

RESUMEN: Se realizó un análisis comparativo (cuantitativo-cualitativo) del secado en secador solar para el deshidratado de los frutos de algarroba (*Prosopis alba*) y los métodos de secado típicamente implementados en el NOA (secado sobre chapa de zinc, sobre plástico negro), desde una perspectiva estrictamente técnica. Se consideraron en el análisis, aspectos asociados al riesgo de pérdidas poscosecha (tiempo de secado y contenido de humedad final) y eficiencia de cada técnica de secado. La calidad se evaluó mediante índices de calidad del proceso (I.C._p) y del producto final (I.C._{P.F}). Se determinó que existen diferencias significativas en la capacidad de cada técnica ensayada para reducir la humedad de los frutos, para alcanzar la humedad adecuada para la molienda y condiciones sanitarias bajo las cuales se lleva a cabo el proceso. Se concluye que el secado en el secador solar INENCO es la alternativa tecnológica más adecuada para mejorar el proceso productivo tradicional.

Palabras clave: Harina de algarroba, *Prosopis alba*, secador solar, indicadores de calidad, curvas de secado.

INTRODUCCIÓN

La harina de algarroba es un producto tradicional alimenticio, muy antiguo que elaboran las comunidades que habitan la ecorregión de Chaco Semiárido y el Monte. Es definida por el Código Alimentario en su artículo N° 681 como el producto de la molienda de las semillas o vainas del Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) y Algarrobo Negro (*Prosopis nigra*). En líneas generales la harina de algarroba podría caracterizarse como rica en alimentos constructores, del tipo regulador y energético, lo que permite obtener preparados y subproductos que posibilitan la formulación de alimentos con menor cantidad de azúcar refinada agregada. Dado su elevado aporte de fibra dietaria, resulta beneficioso en patologías intestinales tales como el estreñimiento o la enfermedad diverticular. Permite elaborar productos con aporte aumentado de hierro y calcio. Por lo que sería una alternativa alimentaria importante para poblaciones en riesgo y de alta vulnerabilidad, recién nacidos y embarazadas. Se trata de un producto apto para celíacos, por su condición como libre de gluten (Astrada, 2008).

Su elaboración implica tres fases claves: recolección de frutos, secado de las vainas y molienda. La recolección es manual y la realizan fundamentalmente los niños y mujeres. Los frutos son recogidos del suelo (Saravia, 1995 en Prokopiuk, 2004). La cosecha dispersa da lugar a la obtención de un producto heterogéneo, con diferencias en cuanto a sus propiedades organolépticas debido a las distintas características de las vainas colectadas y la metodología de obtención. Sin embargo esto no constituye en sí mismo un problema para el autoconsumo pero si es una limitante para su comercialización (Astrada et al, 2008). La humedad inicial de la vaina luego de su recolección varía entre el 12 al 16 % y debe reducirse hasta alcanzar el punto de quiebre para iniciar la molienda (INTA- Santiago del Estero, 2002). El tiempo de secado necesario para alcanzar el punto de quiebre es variable. El secado tradicional utiliza muy poca a nula energía convencional disponiendo los frutos a la exposición solar direct (mesas, catres o techos de cinc), al anochecer son guardados en el interior de la vivienda para evitar que se humedezcan o sean objeto de consumo por parte de depredadores (Figuroa y Danta, 2006). Para el proceso de secado tradicional de las vainas de algarroba, Traskaukas y colaboradores (2002) reportan la existencia de dificultades para alcanzar la humedad requerida en los frutos para iniciar la fase de molienda y una baja velocidad de secado. El material seco se guarda en una troja siendo susceptible al ataque de insectos (Demaio, 1988 en Charpentier, 1998). Luego de un óptimo secado solar, las vainas ya se encuentran en condición de ser molidas en morteros de algarrobo o quebracho colorado (Figuroa y Danta, 2006).

El presente trabajo se enmarca dentro del estudio de Evaluación de la Factibilidad técnico-socioeconómica de la implementación de Secadores Solares para la mejora de la Producción de Harina de Algarroba. Se analizaron en forma comparativa alternativas tecnológicas posibles de implementar para el deshidratado de los frutos de algarroba. Trabajos precedentes demuestran que el proceso productivo tradicional de obtención de harina de algarroba es susceptible de mejora en cada una de sus etapas y denotan que su producción, consumo y revaloración a nivel local reviste importancia en el marco de la soberanía alimentaria y conservación de los bosques por tratarse de un producto forestal no maderero (Cruz y Sauad, 2011; Cruz et al, 2012).

METODOLOGÍA

Se realizó un análisis comparativo (cuantitativo-cualitativo) de los principales métodos de secado de vainas de *Prosopis alba*, implementados en el NOA (secado sobre chapa de zinc, sobre plástico negro) y el deshidratado en secador solar. Se consideraron para ello, aspectos asociados al riesgo de pérdidas poscosecha (tiempo de secado y contenido de humedad final) y eficiencia de cada técnica de secado. La calidad se evaluó mediante índices de calidad del proceso (I.C._p) y del producto final (I.C._{P.F}), construidos específicamente para tal fin.

Para los ensayos se empleó una muestra compuesta, constituida a partir de material recolectado durante la algarrobeada realizada por la Escuela Agrotécnica "La Puntana" del Departamento de Rivadavia- Salta (principal productor del área). A su

¹ Cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos Ambientales y de Recursos Naturales. IRNED

² Cátedra de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales, IRNED

³ INENCO

vez se recolectaron vainas de árboles de áreas públicas de Misión La Puntana y del Centro Experimental Didáctico y Productivo de la Escuela Aerotécnica (ubicados dentro del radio de influencia de los productores).

El análisis cuantitativo que compara el método de secado en secador solar respecto de las alternativas previamente mencionadas, contempla la obtención de curvas de secado (expresadas en base seca= X), tiempo requerido para alcanzar el punto de quiebre y la eficiencia de cada sistema. Para ello se efectuaron los siguientes ensayos:

- Secado de las vainas de *Prosopis sp.* en un secador solar mixto con una cámara de secado de 0,85 m de ancho, 0,20 m de alto y 2 m de largo construida en chapa galvanizada y acero inoxidable en el interior, con aislación de lana de vidrio de espesor 2,5 cm y una cubierta superior de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor, desarrollado en el INENCO.
- Secado de las vainas de *Prosopis sp.* sobre chapa de zinc: los frutos se extienden sobre esta última y son expuestos a la radiación solar directa.
- Secado sobre plástico negro de *Prosopis sp.*: las vainas se extendieron sobre un plástico negro de 200 micras y se expusieron al sol para su secado.

En todos los casos se midieron a intervalos regulares de tiempo los siguientes parámetros: radiación global (w/m^2), variación en peso de las muestras (Kg.), temperatura y humedad de la cámara de secado en el caso de ensayo en secador solar (%), temperatura ambiente ($^{\circ}C$) y humedad relativa ambiente (%). Para la medición de temperatura se utilizaron termómetros digitales con termocuplas tipo K; la humedad relativa se midió con un VAISALA HMI41 y el peso con una balanza de precisión OHAUS Scout Pro.

Para el cálculo de la eficiencia de cada práctica de secado se aplicó la siguiente fórmula:

$$\eta = (\Delta m * h) / [(I * Ac) * \Delta t] \quad (1)$$

η : Eficiencia

h : Calor latente de vaporización (J/Kg)

Δm : Variación de masa (Kg)

I : Radiación (W/m²)

Ac : Área de colección (m²)

t : tiempo (s)

Para el análisis cualitativo de los frutos se construyó un índice de calidad del proceso (I.C.p) y la calidad del producto final (I.C.P.p). Los aspectos evaluados se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Aspectos de las condiciones sanitarias analizadas en el proceso de secado de los frutos de *Prosopis sp.*

ASPECTO	VARIABLE
Desinfección del producto	Pretratamiento (lavado de las vainas)
Inocuidad de los frutos	Presencia de insectos durante el proceso de secado. Exposición al polvo. Exposición del producto a otros agentes contaminantes (pájaros, roedores, etc.).
Nivel de control de las condiciones de secado (temperatura, flujo de aire y humedad relativa)	Hace referencia a la capacidad operativa del sistema para controlar variables que tienen injerencia en la calidad del producto final. Para su análisis se emplea la siguiente escala: Bueno: Control relativo de todas las variables Regular: Control relativo de al menos una variable Nulo: sin control de ninguna variable.
Nivel de control de las condiciones de secado (temperatura, flujo de aire y humedad relativa)	Hace referencia a la capacidad operativa del sistema para controlar variables que tienen injerencia en la calidad del producto final. Para su análisis se emplea la siguiente escala: Bueno: Control relativo de todas las variables Regular: Control relativo de al menos una variable Nulo: sin control de ninguna variable.

Tabla 2. Atributos de calidad de los frutos de *Prosopis alba*, considerados en el análisis del proceso de secado.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Humedad Final	Es una variable cualitativa que considera la humedad final alcanzada con cada método y la circunscribe a una escala para su valoración.
Presencia de Polvo	Variable dicotómica que evalúa la existencia de restos de polvos en el producto final.
Presencia de restos de insectos	Variable dicotómica, que considera la existencia de insectos o restos de estos en los frutos que finalizaron el proceso de secado.
Aroma	Existencia de aroma al alcanzar el punto de quiebre.
Uniformidad del secado del producto	Mide la uniformidad de la humedad de los frutos luego del proceso de secado en 10 vainas tomadas al azar, a partir de la fragmentación manual. Tal como evalúan el punto de quiebre los productores de harina de algarroba.

RESULTADOS

Los diversos métodos ensayados (Figura 1) para el secado de los frutos de *Prosopis alba* revelaron la existencia de diferencias significativas en cuanto a la capacidad para reducir la humedad, período de tiempo requerido para alcanzar el punto de quiebre y condiciones sanitarias bajo las cuales se lleva a cabo el proceso (Tabla 3).



Figura 1. Métodos ensayados para el secado de los frutos de *Prosopis alba*, a.1 cámara de secado, a.2 bandeja, a.3 Secador solar, b. Secado sobre chapa de zinc, c. Secado sobre plástico negro.

Tabla 3. Variables analizadas en los métodos de secado ensayados

	Secador solar	Plástico negro	Chapa de zinc
Reducción de la Humedad (%)	12,27	9,34	10,58
Días de secado necesarios para la molienda	1	Más de 5 días	Mínimo 4 días
Hs. mínima de secado por día	6,47	6,47	6,47

La humedad final obtenida varía con las distintas técnicas ensayadas, ello se ve reflejado en las curvas de secado (Figura 2) en las cuales se observa que mediante el uso del secador solar INENCO se pudo disminuir el contenido de humedad de los frutos a un valor mínimo de $X= 0,12$, el valor obtenido para sistema de secado sobre chapa de zinc fue de $X= 0,15$ y para el sistema de secado sobre plástico negro se obtuvo un valor de $X= 0,16$. Asimismo con el secador INENCO el tiempo de secado requerido para alcanzar el punto de quiebre se logra en un día de sol, sin embargo a la quinta hora de secado las vainas desprenden un aroma intenso y se fragmentan fácilmente al manipularlas. En el caso del secado sobre chapa de zinc dicho tiempo se determinó experimentalmente, presentándose dificultades para disminuir la humedad de los mismos luego del primer día de secado. Respecto del secado con plástico negro, luego del cuarto día no se alcanzaron resultados satisfactorios. El valor más elevado de eficiencia promedio se obtuvo para el sistema de secado en secador solar INENCO ($\eta: 0,256$), seguido en orden decreciente por el uso de chapa de zinc ($\eta: 0,131$) y el empleo de plástico negro ($\eta: 0,063$) para la deshidratación de los frutos de *Prosopis alba*. Los registros de eficiencia instantánea coinciden con dicho orden de jerarquía. En la evolución temporal de la eficiencia para cada sistema ensayado se observa una disminución del parámetro con el incremento de la radiación solar a horas del medio día, sin que presente un proporcional aumento de la velocidad de secado. No obstante el comportamiento observado es propio de los sistemas con circulación de aire pasivo. El valor más elevado de eficiencia promedio se obtuvo para el sistema de secado en secador solar INENCO ($\eta: 0,256$), seguido en orden decreciente por el uso de chapa de zinc ($\eta: 0,131$) y el empleo de plástico negro ($\eta: 0,063$) para la deshidratación de los frutos de *Prosopis alba*. Los registros de eficiencia instantánea coinciden con dicho orden de jerarquía. En la evolución temporal de la eficiencia para cada sistema ensayado se observa una disminución del parámetro con el incremento de la radiación solar a horas del medio día, sin que presente un proporcional aumento de la velocidad de secado. El comportamiento observado es propio de los sistemas con circulación de aire pasivo.

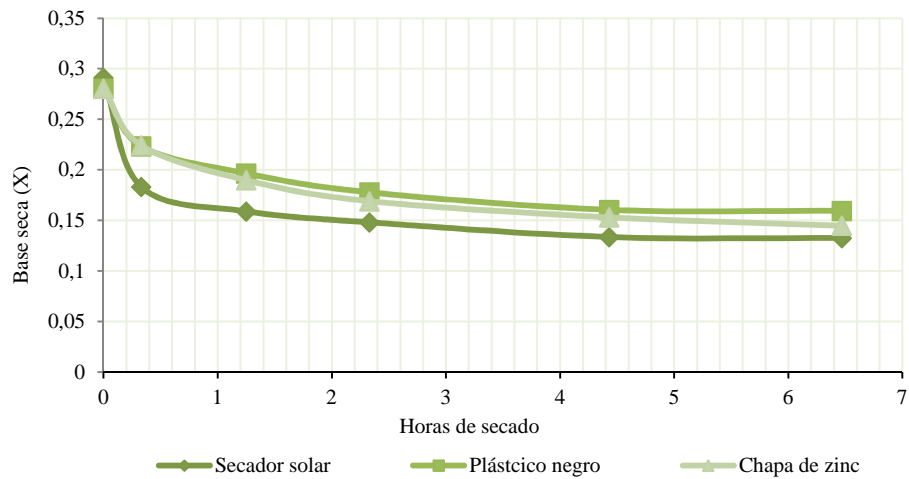


Figura 2. Curva de secado de los métodos ensayados para el secado de los frutos de *Prosopis alba*

Para el caso del secado solar el lavado de las vainas si bien no influye en el tiempo de secado utilizado por la materia prima, si influye en la velocidad de secado. Ello se refleja en la curva de secado obtenida (Figura 3), en la cual se observa un comportamiento similar al del deshidratado sin desinfección. La humedad final resultó menor cuando las vainas eran lavadas en forma previa al secado ($X= 0,11$), situación en la que se logró reducir la humedad de los frutos en un 13,06 % luego de cinco horas de secado a una temperatura promedio de 82,15 °C. En las vainas que no recibieron pretratamiento, la humedad final fue de $X= 0,12$ bajo el mismo tiempo y condiciones de secado. En ambos casos las vainas alcanzaron el punto de quiebre luego de cinco horas de secado en secador solar.

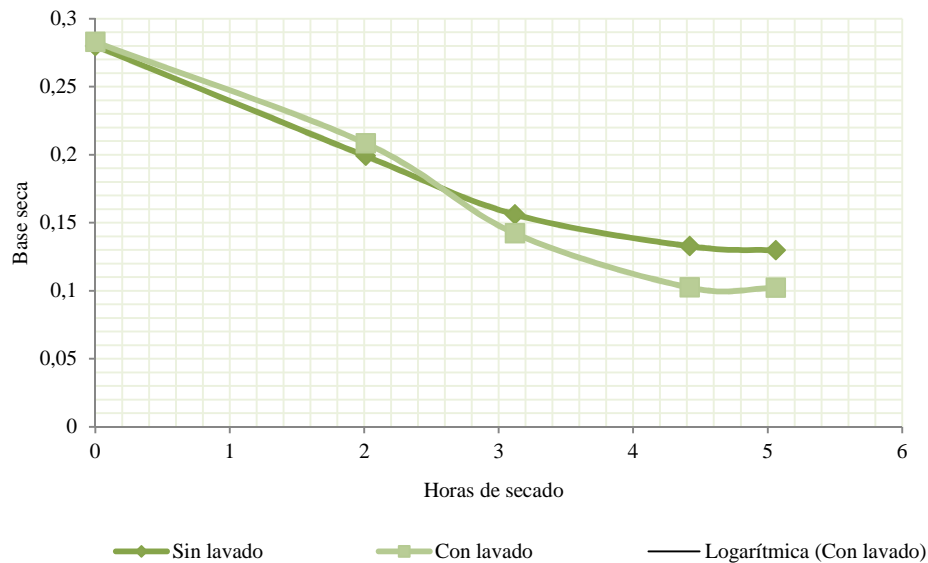


Figura 3. Curvas de secado de los frutos de *Prosopis alba* en secador solar, con y sin pretratamiento.

Para los análisis comparativos de calidad se elaboró un índice de calidad (I.C._p) que evalúa la desinfección e inocuidad del proceso de secado de cada sistema de deshidratación analizado, el que resulta de la sumatoria lineal de las variables consideradas según una valoración cualitativa realizada de las mismas (Tabla 4).

Tabla 4. Escala de valoración de los variables considerados en el I.C.p.

Valor	ASPECTO				
	Desinfección	Inocuidad			
	Pretratamiento	Ausencia de insectos	Exposición al polvo	Exposición a otros agentes contaminantes	Nivel de control de las condiciones de secado
0	No	No	Sí	No	Nulo=sin control de ninguna variable.
0,5					Regular= Control relativo de al menos una variable
1	Sí	Sí	No	Sí	Bueno =Control relativo de todas las variables

Los aspectos de calidad (desinfección e inocuidad), evaluados mediante el I.C.p; permitieron determinar que el uso del secador solar genera un proceso satisfactorio de secado (I.C.p =4,5). Los métodos de secado sobre plástico negro y chapa de zinc obtuvieron las cifras más bajas (I.C.p =0,5). Del análisis de cada variable de calidad en el sistema de secado tradicional, sobre plástico negro y chapa de zinc surge que la situación más crítica se refiere a la desinfección del producto y a la presencia de insectos (Figura 4). La exposición de los frutos al polvo no constituye en sí mismo un problema grave.

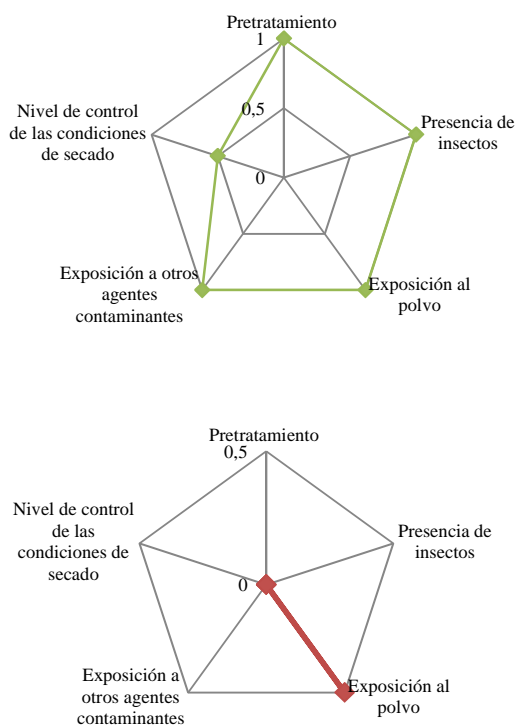


Figura 4. A la izquierda se muestra el comportamiento de las variables de calidad analizadas durante el proceso de secado en secador solar. A la derecha durante el proceso de secado sobre plástico negro y chapa de zinc.

Para el análisis de la calidad de los frutos deshidratados por cada uno de los métodos ensayados, se elaboró un índice de calidad del producto final (I.C.P.f). Su valor resulta de la sumatoria lineal de las variables analizadas y evaluadas mediante una escala específica diseñada para tal fin (Tabla 5). El rango utilizado para la variable humedad final fue tomado de Cruz y Sauad (2012).

Tabla 5. Escala de valoración de las variables considerados en el I.C

Valor	VARIABLES				
	Humedad final	Presencia de polvo	Presencia de restos de insectos	Aroma	Uniformidad del secado del producto
0	Baja (mayor a 0,13 ws)	Con restos de polvo	Presencia de insectos sobre las vainas durante el proceso de secado.	Sin aroma luego de 6 horas de secado	Menos de 5 vainas tomadas al azar de la muestra alcanzan el punto de quiebre.
0,5	Media (mayor a 0,12 y menor a 0,13)				5 vainas tomadas al azar de la muestra alcanzan el punto de quiebre.
1	Optima (menor o igual a 0,12 ws)	Sin restos de polvo	Sin presencia de insectos sobre las vainas durante el proceso de secado.	Con aroma luego de 6 horas de secado	10 vainas tomadas al azar de la muestra alcanzan el punto de quiebre.

El secado sobre plástico negro genera un producto de calidad deficiente (I.C.P.F.=0), con el secado sobre chapa de zinc el índice de calidad mejora (I.C.P.F.=1) siendo en este caso los aspectos críticos: la heterogeneidad en el contenido de humedad del producto, la presencia de restos de insectos y los restos de polvo. Se determinó que se logra una calidad de frutos satisfactoria con el secado en secador solar (I.C.P.F.=5) (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

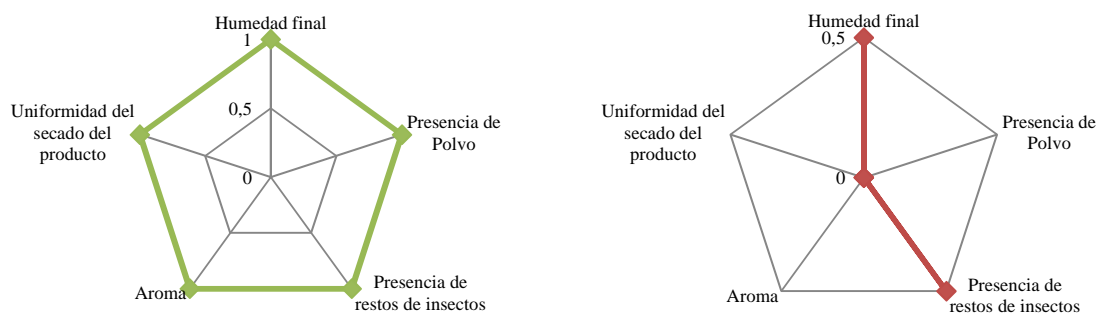


Figura 5. A la izquierda se muestra el comportamiento de las variables evaluadas en el análisis de calidad del producto final para el secado en secadero solar. A la derecha las variables evaluadas para el secado sobre chapa de zinc.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la comparación cuantitativa de los diferentes métodos de secado empleados en el NOA, para el deshidratado de los frutos de *Prosopis alba*, surge que el sistema más adecuado desde una perspectiva técnica, es el secado en secador solar.

El contenido de humedad final del fruto y tiempo de secado necesario para alcanzar el punto de quiebre, son parámetros relevantes cuya reducción tiene incidencia positiva en la estructura de costos de la función de producción de la harina de algarroba, encontrándose simultáneamente asociados a la eficiencia del proceso. El uso del secador solar para el deshidratado de las vainas reduce el contenido de humedad final de los frutos en 1,69% por debajo del nivel obtenido con el secado de los frutos sobre chapa de zinc y 2,93% por debajo de la humedad final obtenida con el secado de las vainas sobre plástico negro. El tiempo de secado requerido para alcanzar el punto de quiebre, con el secador solar individual es de un día. Lo cual corresponde a 1/4 del tiempo requerido por el sistema de secado sobre chapa de zinc y a 1/5 del tiempo necesario para alcanzar el punto de quiebre del sistema de secado sobre plástico negro.

El punto de quiebre definido en el presente estudio se alcanza rápidamente y resulta lógico el comportamiento de la curva de secado obtenida mediante el uso del secador solar. No obstante la reducción en peso durante las primeras dos horas constituye el 47,01% del total de la humedad (21,8%) de los frutos. Se trata de una reducción de humedad alta para el período considerado, ello puede ser atribuido a la existencia de picos de temperaturas registrados en la cámara de secado para el intervalo de análisis (102°C y 81,3 °C, respectivamente), pudiendo las mismas repercutir nocivamente en la calidad del producto. No obstante la incorporación de un secador solar además de incrementar la eficiencia y velocidad del proceso de secado, permite la obtención de “Tostado”, un producto derivado con gran potencial de comercialización en el mercado regional y nacional. Las elevadas temperaturas registradas en la cámara de secado indican que el secador solar INENCO tiene el potencial necesario para incrementar la carga de secado y que el flujo de aire es susceptible de mejora.

Mediante el ensayo que compara los niveles finales de humedad del producto sin pretratamiento (lavado) y con pretratamiento, se logró demostrar que su incorporación en el proceso productivo resulta factible, si las vainas de algarroba (*Prosopis alba*) se deshidratan en secador solar. La diferencias de humedad final detectada en la muestra pretratada y sin

tratar, revelan que el lavado hace más eficiente el proceso de secado e incrementa la velocidad de secado. Obteniéndose por ello niveles de humedad final menores a los registrados sin pretratamiento, para el mismo período de secado y bajo las mismas condiciones ambientales. Dichas diferencias podrían ser consecuencia de la eliminación de la película de polvo, que limita el intercambio gaseoso durante el proceso de secado. Cabe destacar que solo se ensayó el pretratamiento para el sistema de secado en secador solar, por presentar el mismo la eficiencia más alta y lograr el punto de quiebre en el menor tiempo, ya que para el resto de los métodos la práctica resultaría inviable dado los reducidos valores de eficiencia. El lavado de las vainas de algarroba mejora substancialmente las condiciones de calidad del proceso de secado y la inocuidad del producto final ($IC_p=4,5$ e $IC=5$ en secador solar), permitiendo ajustar parámetros de calidad a los estándares actuales requeridos para su comercialización a nivel regional. Sin embargo también tiene una repercusión a nivel de bienestar de las familias si se considera el autoconsumo. El índice de calidad del proceso de secado (IC_p) muestra que el secado en secador solar presenta el máximo valor, adquiriendo una cifra que supera en un 50% al sistema de secado cañizo y un 90% relación a los otros sistemas de secado ensayados. Por ello comparativamente constituye la mejor alternativa a implementar en el plano de análisis. El índice de calidad del producto final (IC_p) reveló que el sistema de secado sobre plástico negro debe ser descartado como una alternativa viable, ya que genera un producto de calidad deficiente ($IC=0$) y el sistema de secado en secador solar es idóneo.

El punto de quiebre para el presente estudio se fijó arbitrariamente (*Prosopis alba* $X=0,12$), desde el punto de vista técnico constituye una mejora substancial en el proceso de obtención de harina; puesto que se trata de una propuesta tendiente a reducir.

Las buenas prácticas en el proceso de secado de los frutos de algarroba son factibles de implementar, desde la perspectiva técnica. La homogenización del punto de quiebre propuesto redundaría en una mejora de la eficiencia de la función de producción de harina de algarroba y la calidad del producto final. Sin embargo en el marco del análisis de mercadeo de los excedentes, dichas propuestas no garantizan una comercialización satisfactoria. Puesto que en su formulación no se consideraron las preferencias de los consumidores, dada la inexistencia de dicha información.

REFERENCIAS

- Cruz I. y Sauad J. (2012). El secado de las vainas de algarrobo con tecnología solar: Una experiencia participativa en Santa María, Provincia de Catamarca. Avance del análisis preliminar de Factibilidad social y económica. (Preguntar a pablo la pagina!!).
- Cruz I. , Miranda F., Sauad J. y Condorí M. (2010). Rescate Cultural y Valoración Económica de la Harina de Algarroba: Estudios Hacia el Manejo Sustentable en Misión La Puntana. Ciencia 7, 25, 83-96.
- Prokopiuk D. (2004). Sucedáneo del café a partir de algarroba (*Prosopis alba* Griseb). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de tecnología de alimentos. España.
- Astrada E., Caratozzolo M., Blasco C., Quiroga L., Ronayne P. y Vigilante J. (2008). Potencialidad alimentaria del bosque nativo del Chaco Argentino: una experiencia prometedora basada en la harina de algarroba (*Prosopis alba*). IV Congreso Internacional ALFATER: Alimentación, Agricultura Familiar y Territorios. Argentina.
- INTA- Santiago del Estero (2002).
- Figuroa G. y Danta M. (2006). Recolección, procesamiento y consumo de silvestres en el noroeste semiárido argentino. Casos actuales con implicancias arqueológicas. La Zaranda de Ideas 2, 35-50.
- Charpentier M. (1998). Valores nutricionales de las plantas alimenticias silvestres del norte argentino. INCUPO. Argentina.

ABSTRACT

We performed a comparative analysis (quantitative and qualitative) of solar dryer for drying the dehydrated algarroba fruits (*Prosopis alba*) and drying methods typically implemented in NOA (dried on corrugated iron, black plastic envelope), from a perspective strictly technical, based in a comparative study. Were considered for this, aspects associated with risk of post-harvest losses (drying time and final moisture content) and efficiency of each drying technique. Quality was assessed with quality indices of the process (ICP) and the final product (ICPF). It was determined that there are significant differences in the ability of each tested technique to reduce the moisture from the fruits, to achieve adequate moisture for grinding and sanitary conditions under which the process takes place. Was determined that drying in the solar dryer INENCO is the best alternative technology to improve traditional production process.

Keywords: Algarroba flour, *Prosopis alba*, solar dryer, quality indicators, drying curves.