

SECADO SOLAR DE PRODUCTOS HORTICOLAS EN EL NORDESTE ARGENTINO

A.Busso, N. Sogari

Departamento de Física, FaCENA , Universidad Nacional del Nordeste - UNNE
Campus Libertad, Av. Libertad 5600, 3400 Corrientes – Argentina; email: ajbusso@exa.unne.edu.ar

M. Leyes

Facultad de Ciencias Agrarias – , Universidad Nacional del Nordeste - UNNE
Campus Libertad, Av. Libertad 5600, 3400 Corrientes – Argentina

RESUMEN

Se exponen resultados de actividades emprendidas tendientes a la optimización de un secadero solar de tipo gabinete. El mismo es operado por un establecimiento local (Granja Che Roviá) de productos fruti-hortícolas orgánicos, hierbas medicinales y aromáticas, al cual el grupo se encuentra prestando asesoramiento en el marco de un convenio firmado entre la Facultad y la Asociación de Productores Orgánicos de Corrientes. Se analizaron diferentes productos realizándose ensayos de secado en laboratorio y campo. El estudio comprende el proceso de secado, propiedades organolépticas y determinación del peso seco de los productos deshidratados. Para productos de hoja, a las curvas de secado obtenidas en laboratorio se aplicó un modelo exponencial de pérdida de peso determinándose los parámetros característicos mediante ajuste de datos a la ecuación teórica del modelo. El modelo ajustado se comparó con resultados de campo. La correlación obtenida indica que su uso permitiría establecer estrategias de operación y producción para productos de hoja. Se determinó en 18% la eficiencia del secadero para el caso de secado de ortiga.

ABSTRACT

Results of activities aimed at the optimisation of a cabinet type solar dryer are presented. The dryer is operated by a local organic farm ("Che Rovia" farm) to which this group is lending advice within the frame of an agreement signed between the Association of Organic Producers of Corrientes and the Physics Dpnt of FaCENA - UNNE. Several products were analysed. In all cases drying curves were obtained in the laboratory and with the solar dryer as well as. The study comprises the drying process, physical properties and determination of the dry weight of the dried products. To the drying curves obtained in laboratory for leaf products an exponential model of loss of weight was applied. The characteristic parameters were determined by three-variable parameters curve fitting of experimental data using the theoretical equation as fitting function. The adjusted solution was compared with field results. The correlation obtained indicates, in principle, that it could be used to establish operation and production strategies for leaf products. It was also determined a total thermal efficiency for the dryer in the order of 18%.

Palabras clave: energía solar, deshidratación, horticultura, secadero solar.

INTRODUCCIÓN

Desde el año 1984, el Servicio de Apoyo a los Pequeños Productores de la provincia de Corrientes, inicia una promoción para la constitución de consorcios de pequeños productores en distintos departamentos con la finalidad de estimular la compra conjunta de insumos, la búsqueda de apoyo técnico y financiero para sus actividades productivas. Estas acciones permitieron mejorar los aspectos de la producción.

En 1988, se da comienzo al programa de asesoramiento para la producción hortícola bajo cobertura, con resultados satisfactorios. En 1991 se puso en marcha el Programa de Crédito y Apoyo Técnico para pequeños productores del Nordeste Argentino, lo que posibilitó que a partir de las campañas 1992-1993 aumentaran notablemente, el número de productores incorporados a la actividad de obtener productos fruti-hortícolas bajo cobertura.

La provincia de Corrientes posee en la actualidad, extensas superficies de cultivos protegidos. El área total bajo cobertura destinada a la producción hortícola es de 798,42 hectáreas, de las cuales un 90% se destina al cultivo de tomate y pimiento.

La Fig.1 muestra la producción que ingresa al mercado de abasto considerando solo el Departamento Capital de la Provincia de Corrientes. En ella se aprecia que la producción de cebolla es la más importante, seguida por el ajo y el pimiento en sus dos variedades, rojo y verde.

Las figuras 2 y 3, muestran la variación promedio anual de la producción y del precio por kilo para pimiento y orégano. En épocas estivales la oferta de pimiento aumenta por lo que su precio disminuye ocurriendo la situación inversa en épocas invernales.

Para el caso del orégano, la mayoría de los productores no le dan importancia a la producción del mismo puesto que solo se comercializa como producto fresco.

Actualmente, la evolución del mercado hace necesario incorporar variantes en la forma de presentación y comercialización de los productos. A este respecto el proceso de deshidratado permitiría cumplir no solo con esta nueva necesidad, sino que también mejoraría la ecuación económica al posibilitar la preservación de excedentes de producción que de otra manera sería desechados.

La técnica de deshidratación de productos hortícolas contribuye a la transformación de los mismos permitiendo al productor incorporar una variante en la presentación de los productos comercializables. La ventaja para el productor de incorporar una tecnología de bajo costo, de instalación y manejo simples, es que dispondrá de otra alternativa para dar salida a su producción y utilizar aquellos productos de difícil aceptación en el mercado.

Una tecnología innovadora, simple y de bajo costo la constituye el secado solar.

La Asociación de Fruti-horticultores, Granjeros, de Producción no Tradicional y Afines solicitó al G.E.R – Grupo de Energías Renovables del Dpto. de Física – FaCENA – UNNE,

asesoramiento sobre el aprovechamiento de energías renovables dentro del área de producción de su competencia.

Como primera etapa, se construyó y puso en funcionamiento, en la granja ecológica Che Roviá, un secadero solar de tipo gabinete de dimensiones apropiadas para pequeños productores. A pesar de ser esta, una tecnología probada y conocida, se decidió realizar un análisis del mismo con el objetivo de evaluar su eficiencia y requerimientos energéticos ya que se prevé, en una segunda etapa, el acople de un sistema de biogás como fuente de energía adicional.

El trabajo se complementa con un estudio en laboratorio de las curvas de secado para los diversos productos a ser procesados y posterior evaluación y comparación de propiedades organolépticas y constitutivas respecto a su estado natural.

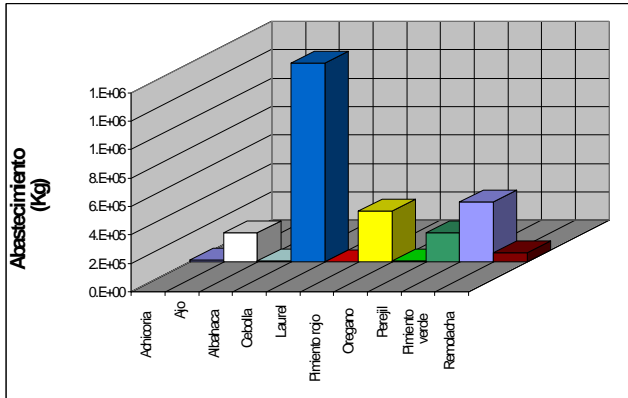


Figura 1.- Productos que ingresan por año al Mercado de Abasto de Corrientes Capital.

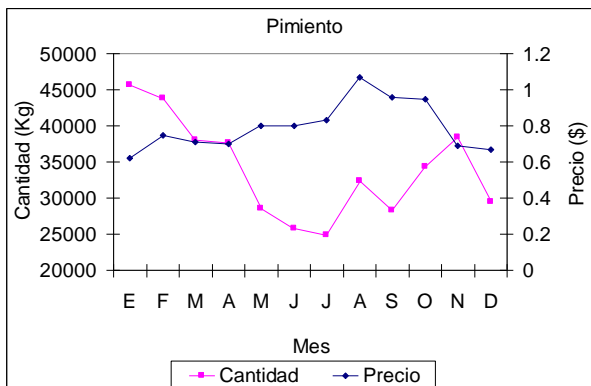


Figura 2.- Variación anual de la producción y del precio del pimiento.

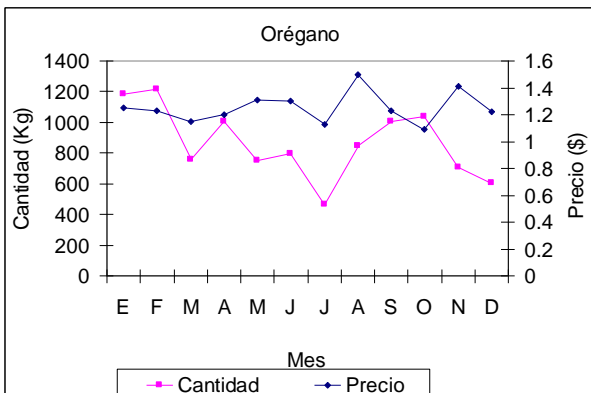


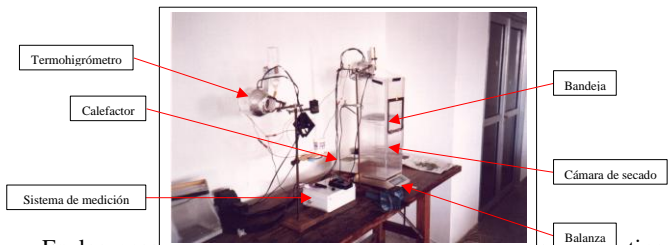
Figura 3.- Variación anual de la producción y del precio del pimiento.

METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo planteado se comenzó por realizar experiencias de secado bajo condiciones controladas de laboratorio. Para tal fin, se construyó una estufa de secado que por sus características (flujo transversal a la bandeja y baja velocidad de aire) se asemeja a la forma de operar del secadero solar de gabinete. En la Fig.4 se muestran una vista de la estufa y componentes del sistema de medición.

La temperatura y velocidad del aire se varían regulando en forma independiente la potencia sobre el ventilador y la resistencia de un caloverno comercial. La bandeja descansa sobre un trípode apoyado sobre una balanza electrónica Mettler, con precisión de 0.01 gr, lo que permite un monitoreo continuo de dicha variable. En la medición de temperaturas se emplean sensores electrónicos LM35 distribuidos en diferentes puntos del sistema (ambiente, entrada y salida de cámara, antes y después de la bandeja). Para la medición de humedades se emplea un termo-higrómetro electrónico construido a tal efecto. El mismo esta compuesto por un par de sensores LM35, uno operando como bulbo seco y el otro, recubierto por una camisa húmeda, operando como bulbo húmedo. Ambos sensores se encuentran en una corriente de aire de aproximadamente 3.5 m s^{-1} , producida por un ventilador de 12V DC de fuente de alimentación de PC. El mismo fue calibrado contra un higrómetro convencional de bulbo seco y húmedo de mercurio. Todos los sensores se conectan a un multiplexor que permite el escaneo manual de los canales de medición y lectura de salida directa con un voltímetro digital. La determinación de la velocidad del aire se efectuó a la salida de la cámara mediante un anemómetro de hilo caliente.

Las curvas de secado experimental obtenidas a diferentes temperaturas de secado se ajustaron a la ec.(3) mediante el utilitario Origin6.0, determinándose los parámetros $P_{e\%}$, A y τ , para cada una de ellas. Posteriormente, de una gráfica de los mismos en función de T se estableció, por regresión, la dependencia de ellos con la temperatura de secado.



En los ensayos de campo se utilizó un secadero solar de tipo gabinete con capacidad en cámara de secado para 8 bandejas de 0.25 m^2 cada una, apiladas en dos grupos de 4, según se muestra en la Fig.5.



Figura 5: Vista del secadero solar y detalle del interior de la cámara de secado.

El gabinete consiste en una estructura de madera semidura revestida en machimbre de pino de 10 mm tratado exteriormente con sellador y barniz para proteger de la influencia del medio ambiente. El interior se cubrió con una capa de poliestireno de 0.02 m de espesor para disminuir pérdidas térmicas. El colector solar acoplado posee un área colectora neta de 2 m². La cubierta transparente es de policarbonato alveolar de 0.006 m y la placa colectora de chapa galvanizada ondulada con ambas caras pintadas de negro mate con pintura comercial. El colector forma un ángulo de 22° con la horizontal. La Fig.5 expone un detalle del sistema y una vista interior de la cámara de secado. El precio total del secadero, sin incluir mano de obra, ronda los USD 250.

Durante los ensayos, se monitoreó a lo largo del tiempo temperatura en diferentes puntos del sistema (ambiente, entrada y salida del colector, salida de cámara y chimenea), peso de una muestra testigo y radiación solar incidente en plano del colector. A fin de comparar los resultados obtenidos en laboratorio con los de campo, se seleccionó la bandeja inferior de un grupo de cuatro como bandeja testigo para el registro de pérdida de peso. Para la medición de temperaturas se emplearon termocuplas tipo K conectadas a un voltímetro de lectura directa. La humedad ambiente se determinó por medio de un termo-higrómetro digital comercial de tipo hogareño y la radiación solar con un solarímetro fotovoltaico.

Para cada ensayo, sea de campo o laboratorio, se analizaron las propiedades organolépticas (olor, color y aroma) de los productos secos además de determinarse el peso seco a 105 °C de cada uno de ellos.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Mecanismo del secado: En el proceso de secado, la cantidad de agua que se puede extraer del producto depende de su estructura. La pérdida gradual de agua por parte del producto, hace que el comportamiento de este frente al secado cambie en el tiempo, observándose dos regímenes a saber; régimen de velocidad constante y régimen de velocidad decreciente.

En el primer régimen, el secado es equivalente a la evaporación desde una superficie de agua libre presente sobre la superficie del sólido. Luego de la evaporación de cierta cantidad de agua, esta equivalencia pierde validez y, a medida que la humedad del producto decae, el potencial de secado del aire caliente también disminuye, resultando en una de la velocidad decreciente de secado o, segundo régimen.

En el caso de estrategia de secado en capas delgadas, esto es, toda la superficie del producto se encuentra expuesta a la corriente de aire de secado, el movimiento de la humedad desde el producto, en el régimen de secado de velocidad decreciente, cuando este está expuesto al aire caliente que circula por sobre su superficie, puede ser expresado en términos de una ley similar a la de Newton:

$$\frac{dM}{dt} = -K(M - M_e) \quad [1]$$

Integrando esta expresión se tiene:

$$\frac{M(t) - M_e}{M_{in} - M_e} = e^{-Kt} \quad [2]$$

Donde M_{in} es el contenido de humedad inicial ($t = 0$), M_e es el contenido de humedad de equilibrio, ambos en base seca, y K es

una constante de secado cuyo valor depende de la naturaleza del producto, de la temperatura y de la humedad relativa.

Expresando los contenidos de humedad, M , en términos de los pesos; $M = \frac{P - P_s}{P_s}$, reemplazando en [2], reordenando y

dividiendo por el peso inicial, P_{in} , se obtiene:

$$P_{\%} = P_{e\%} A e^{-t/\tau} \quad [3]$$

$$\text{con } P_{e\%} = \frac{P_e}{P_{in}} ; A = 1 - \frac{P_e}{P_{in}} ; \tau = \frac{1}{K} ; \text{ parámetros estos}$$

que dependen de la temperatura, humedad relativa y velocidad de aire y que pueden ser determinados experimentalmente para un producto dado analizando sus curvas de secado obtenidas bajo diferentes condiciones del aire de proceso.

Eficiencia del secadero: El parámetro más importante en el proceso de secado es la potencia disponible para poder mantener el producto a temperatura constante. Por ello, el conocimiento de antemano del requerimiento energético mínimo es imprescindible para dimensionar adecuadamente la fuente de energía, colector solar en el presente caso. Este dato puede ser estimado a partir de la cantidad de humedad a ser removida del producto en cuestión.

Obviamente, el requerimiento neto de energía dependerá de la eficiencia del secadero, la cual se puede definir como:

$$\eta_s = \frac{W \cdot L \cdot 100}{\eta_c \cdot A_c \cdot I} \quad [4]$$

donde:

η_s = eficiencia del secadero ; W = peso del agua evaporada del producto (kg) ; L = Calor latente de vaporización (J kg⁻¹) ; η_c = eficiencia del colector, A_c = área neta de colección (m²) y I = Intensidad de radiación solar incidente sobre el plano del colector (J m⁻²).

RESULTADOS EXPERIMENTALES

La Fig.6 presenta curvas normalizadas de secado para diversos productos obtenidas a 60°C. Se visualiza cualitativamente la respuesta de cada producto al tratamiento de secado. Por otro lado, la Fig.7 muestra curvas de secado a diferentes temperaturas para ortiga (*Urtica baccifera*), producto silvestre, de uso medicinal y de particular interés para el productor a quien se está asesorando. Las líneas de trazo representan las curvas teóricas predichas por la ec.(3) luego de haberse realizado el ajuste de los datos experimentales. En ambos casos la velocidad del aire de secado es de 0.2 m s⁻¹, valor aproximado al registrado en el secadero solar para días de viento suave.

La Fig.8 presenta los datos obtenidos para una corrida típica de secado en el secadero solar. Las condiciones reinantes fueron de día claro con viento moderado. En ella se aprecia la variación del peso de la muestra testigo, las temperaturas del sistema en los diferentes puntos de registro y la humedad absoluta ambiente durante la duración de la experiencia. Se puede observar asimismo que, inmediato al cargado de la cámara, se produce una diferencia entre las temperaturas de entrada y salida de la misma (líneas verde y azul respectivamente) debida al aporte de humedad del producto a la corriente de aire de secado. Esta diferencia continúa hasta casi completado el proceso de deshidratación, según se aprecia de la curva de secado (círculos negros).

Posteriormente, estos datos experimentales de campo se compararon con los predichos aplicando la ec.[3] y cuyo resultado

se expone en la Fig.9. Para llevar a cabo este cálculo, como temperatura aplicada en la ec.(3), se tomó el promedio de las temperaturas entre dos intervalos de tiempo sucesivos. Esto se debe a que la temperatura de entrada a la cámara varía continuamente según se aprecia en la Fig.8.

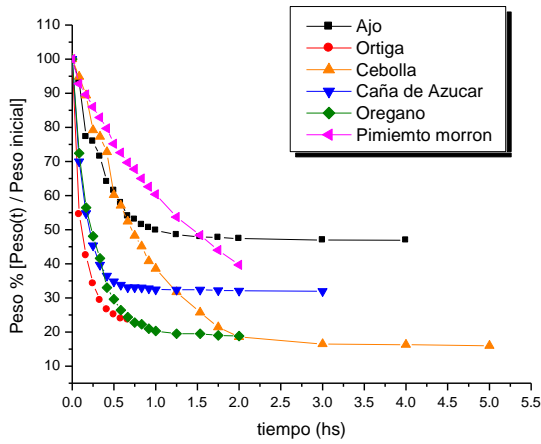


Figura 6. Curvas de secado para distintos productos a 60°C

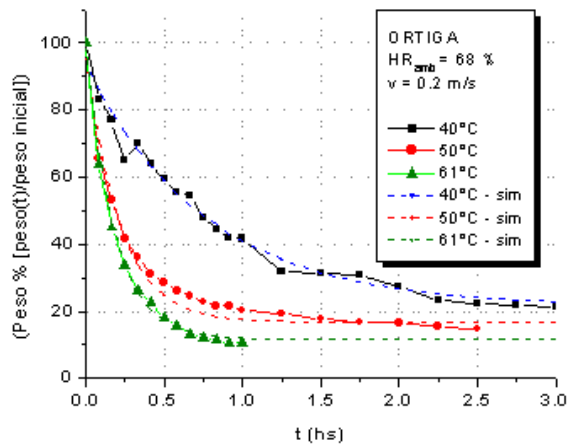


Figura 7.- Curvas de laboratorio para el secado de ortiga (Urtica baccifera).

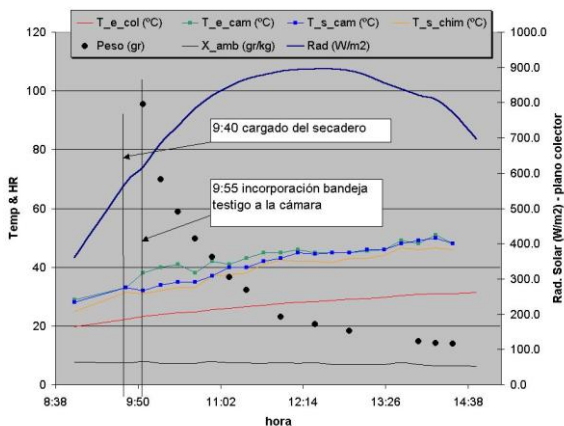


Figura 8. Ensayo de secado en secadero solar. Detalle de temperaturas, humedad absoluta, pérdida de peso y radiación solar

Como es sabido, la dinámica de todo proceso de deshidratación depende de la temperatura, humedad, velocidad del aire de proceso y de la morfología del producto. Por tanto, las diferencias entre ambas curvas, experimental y teórica, se debe, entre otras cosas, a que el modelo de pérdida de agua empleado depende exclusivamente de la temperatura a través de los parámetros $P_e\%$, A y τ , usados en la predicción, sin tomar en cuenta el resto de las variables antes mencionadas. No obstante ello, el modelo permite estimar tiempo y peso porcentual final aproximados lo que posibilita entonces, establecer estrategias de operación y producción.

A este respecto, se deben destacar dos puntos los cuales indicarían que este valor puede mejorarse; en primer lugar, en todos los casos el secadero no fue utilizado a su máxima capacidad y en segundo, la pendiente del colector (22°) no es la apropiada para hacer máximo aprovechamiento de la energía recibida

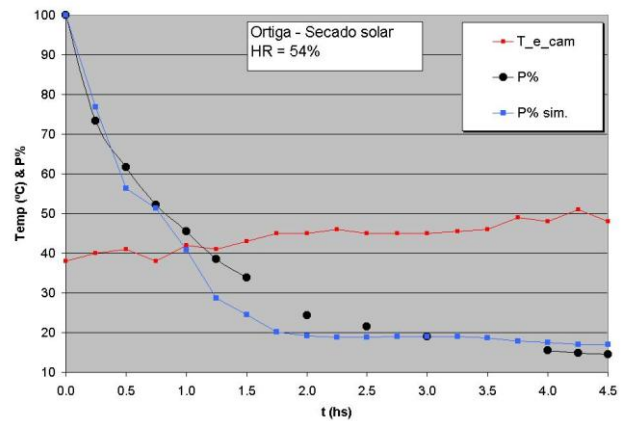


Figura 9. Comparación entre curva de secado, experimental y teórica (ec. (3)).

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO SECO

Las muestras fueron caracterizadas respecto al color, aroma y textura que presentaban luego del proceso de secado, tanto de laboratorio como solar. Se determinó además, en laboratorio, el peso seco a 105°C.

Cabe mencionar que, para el secado solar, en muchas oportunidades los productos presentaban decoloración debida, en todos los casos, a sobre-exposición al secado, esto es, haber permanecido por más de un día sin ser retirados del secadero. Este problema es uno de los detectados y ocurre por falta de cuidado del personal que interviene, lo que va en detrimento de la producción del establecimiento.

Para la determinación del peso seco, el material fresco recién recolectado fue lavado en el laboratorio con agua de la canilla para eliminar tierra y polvo; se dejó escurrir y se extendió sobre las mesadas sobre hojas de papel. Transcurrida una hora se seleccionó parte del material y se separaron las siguientes fracciones:

Fracción 1 – Tabla 2.: se pesó y extendió sobre la mesada, dejándola por 36 hs a temperatura ambiente, tiempo al cabo del cual, se pesó determinándose la pérdida de peso durante el oreado. Posteriormente, se separaron dos fracciones (4 y 5) que fueron colocadas en cápsulas limpias, secas y taradas; se pesaron y secaron en estufa a 105°C durante 24 hs. Paso seguido, se sacaron y colocaron en desecador con sílica gel para luego pesarlas. Se repitió este procedimiento hasta obtener peso constante

Fraciones 2 y 3 – Tabla 3.: se cortaron en trozos pequeños que se colocaron en cápsulas limpias, secas y taradas. Se pesaron y secaron en estufa a 105°C por 36 hs. Paso seguido, se sacaron y colocaron en desecador con sílica gel para que alcanzaran la temperatura ambiente, luego de lo cual fueron pesadas.

Tabla 1. Propiedades organolépticas de algunos productos ensayados.

Producto	Rango de secado	Características del prod. Seco
AJO (<i>Allium Sativum</i>)	40 – 70 °C	En todos los casos conservo color, aroma. Quebradizo al tacto.
CEBOLLA (<i>Allium Cepa</i>)	60 – 70 °C	En todos los casos conservó color, aroma.
ORTIGA (<i>urtica Baccifera</i>)	40 – 60 °C	Producto de escaso olor en forma natural. Presento cierto pardeamiento a 60°C (fig7.) Quebradizo al tacto.
CEDRON (<i>Aloysia Triphylla</i>)	45 – 70 °C	Presento cierto pardeamiento a 70°C. Conservó color. Quebradizo al tacto.
CAÑA DE AZUCAR (<i>Saccharum Officinarum</i>) [triturada]	40 – 60 °C	En todos los casos conservo color. No se detectó cristalización del jugo. Quebradizo al tacto.
OREGANO (<i>Origanum Vulgare</i>)	40 – 60 °C	Presento cierto pardeamiento a 60°C. En todos los casos conservo aroma. Quebradizo al tacto.
Espinaca (<i>Spinaca Oleacea</i>)	40 – 60 °C	Presento cierto pardeamiento a 40°C En todos los casos conservo aroma. Quebradizo al tacto.
Malta	50 – 70 °C	En todos los casos conservo color y aroma.
Perejil (<i>Petroselinum Crispum</i>)	40 – 65 °C	En todos los casos conservó color, aroma. Quebradizo al tacto.
Remolacha (<i>Beta Vulgaris</i>)	50 – 70 °C	En todos los casos conservó color. Se trituró para utilización como colorante.
Mango (<i>Magnifera Indica L</i>)	60 – 70 °C	En todos los casos conservó color, aroma y sabor. No se verifico cristalización superficial.

Tabla 2.- Pérdida de peso por oreado durante 36 horas a temperatura ambiente.

Productos	ACELGA	PEREJIL	CEDRON
Peso inicial producto fresco (gr)	136.142	35.587	50.496
Peso producto oreado (gr)	47.694	14.973	15.569
% pérdida peso (humedad)	64.97	57.93	73.13

Tabla 3.- Peso seco a 105 °C durante 36 horas.

Productos	ACELGA		PEREJIL		CEDRON	
	2	3	2	3	2	3
Peso inicial producto fresco (gr)	38.05	12.98	8.661	9.70	2.14	2.17
Peso seco a 105 °C (gr)	3.981	1.430	1.492	1.61	0.53	0.55
% peso seco a 105 °C	10.46	11.02	17.23	16.6	25.1	25.4
Contenido de humedad (base seca)	8.55	8.07	4.8	5	2.9	2.9
Contenido de humedad (base húmeda) %	89.54	88.98	82.77	83.3	74.8	74.5
Valores de referencia (H2Ogr/100gr) (Mazzei <i>et al.</i> , 1995.)	90.4 – 92		79 – 88			

Para el caso de ortiga (*Urtica baccifera*), se trabajó con producto fresco y secado en secadero solar a temperatura media de aproximadamente 45°C (la Fig.5 muestra detalles del secado). La muestra fresca se separó en tres fracciones, A, B y C. La fracción A se oreó a temperatura ambiente y las B y C se secaron en estufa a 105°C. El producto seco a 45°C se separó en dos fracciones, D y E. Ambas fueron sometidas a secado en estufa a 105°C. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 4. De dicha tabla se

desprende que, el producto seco a 45°C contiene un remanente de humedad del 8.5 % aproximadamente respecto del punto a 105°C.

Tabla 4.- Peso seco a 105°C de ORTIGA: producto fresco y producto secado en secadero solar a 45°C

	Prod. fresco			secado a 45°C	
	A	B	C	D	E
Peso inicial (gr)	40.599	7.178	7.399	1.7488	1.2214
Peso producto oreado* (gr)	9.729	-	-	-	-
Peso seco a 105 °C * (gr)	-	0.933	0.943	1.6015	1.1170
% peso inicial	23.96	-	-	-	-
% peso seco 105°C	-	13.00	12.79	91.58	91.45
Contenido de humedad (base seca)		6.69	5.5		
Contenido de humedad (base húmeda) %	76.04	87.00	87.21	8.42	8.55

* durante 36 horas

En el caso del Mango (*Magnifera Indica L*), las frutas fueron peladas, descarozadas y cortadas en fetas de aproximadamente 0.01 m de espesor. Resendiz Pacheco *et al* (2000), reportan endurecimiento superficial para el secado de pulpa de mango a una temperatura de 50°C. Sin embargo, en nuestras experiencias, tanto de laboratorio como de campo, no hemos observado tal fenómeno a pesar de haber trabajado a temperaturas superiores a los 50°C. Podemos suponer que la ausencia de este endurecimiento se debe a haber trabajado a menor velocidad para la corriente de aire de secado (aproximadamente la mitad de la utilizada en el trabajo de referencia). La Fig.10. muestra las corridas de laboratorio. Se puede observar que el tiempo necesario para alcanzar la humedad de equilibrio es de 6 a 8 hs. siendo este menor al reportado en la referencia (~10 hs.). Este tiempo ha sido verificado a partir de la calidad del producto obtenido en corridas en el secadero solar.

A pesar de las aparentes diferencias mencionadas en el párrafo anterior, la humedad final en base húmeda fue de 12.5 % para la muestra secada a 60°C. La Fig.11 muestra la apariencia del producto final obtenido en el laboratorio y en el secadero solar.

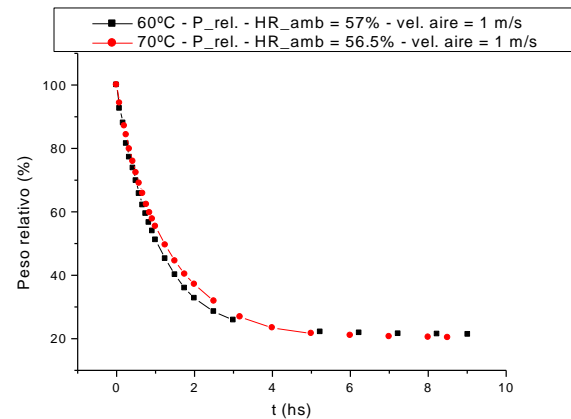


Figura 10.- Curvas de secado para Mango (*Magnifera Indica L*) obtenidas en laboratorio.

BIODIGESTOR

Ciertos productos requieren tiempos de secado que exceden las horas de sol de un día normal (entre 6 a 10 hs. según la estación

del año), se hace necesario entonces contar con una fuente de energía adicional. Por las características de la zona, la pirólisis de

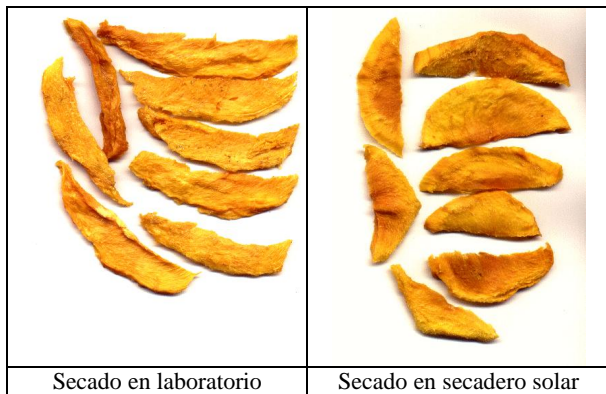


Figura 11.- Apariencia del producto seco

biomasa resultaría la opción inmediata, con el detrimento que esto representa tanto por la emisión de gases como por la deforestación.

Tomando en cuenta la naturaleza y disponibilidad de desperdicios orgánicos presentes en todo emprendimiento agrícola-ganadero, se contemplo la posibilidad de generar biogás a partir de los mismos.

De este forma, se instaló un biodigestor experimental de tipo hindú a fin de realizar algunas experiencias. La capacidad del biodigestor y de la campana es de 0.6 m^3 y 0.25 m^3 respectivamente. Ambos recipientes están contruidos en chapa de hierro de 0.0015 m y tratados con pintura anticorrosiva. El conjunto fue colocado a la intemperie a fin de facilitar su manipulación. Para reducir la interacción térmica entre el ambiente y el cieno de fermentación, la cámara de digestión se envolvió exteriormente con una membrana aislante térmica de 0.02 m de espesor con lamina aluminizada superficial. La Fig. 12. muestra una vista general de la instalación.

La carga diaria es de cieno de fermentación se fijó en 10 l día^{-1} con una proporción de $3/4:1$. De esto se deduce que la producción esperada de biogás para una temperatura de trabajo de $26-28^\circ\text{C}$ es de aproximadamente 50 l día^{-1} .

Asumiendo para un quemador chico un consumo de $\sim 0.2 \text{ m}^3$ por hora de funcionamiento (Groppelli E., Giampaoli O., 2001), la producción esperada alcanzaría para 15 min. de funcionamiento. Lamentablemente, por razones técnicas no fue posible monitorear la producción diaria en forma continua pero, de las experiencias realizadas utilizando una cocina instalada a tal efecto, se comprobó que la producción durante un día de verano alcanzo para 25 min. de uso.

Luego de 8 meses de operación continua la falta de movimiento en la masa de cieno de fermentación hizo que se forme de una costra superficial que no permite el libre desplazamiento de la campana. Actualmente se esta trabajando sobre la incorporación de un sistema agitador y en el diseño de un quemador y su adaptación al secadero.

CONCLUSIONES.

De experiencias de secado en laboratorio se ajustó un modelo exponencial para predecir la pérdida porcentual de peso. El mismo solo contempla la dependencia con la temperatura de secado de los parámetros involucrados. No obstante ello, su aplicación a resultados de campo en secadero solar permitiría su uso para establecer estrategias de operación y producción para

productos de hoja. Se debe profundizar sobre este punto para verificar su validez con otro tipo de productos.



Figura 12.- Vista del biodigestor.

Se determinó una eficiencia térmica total para el secadero del orden del 18% que consideramos puede ser mejorada.

Se analizaron las propiedades organolépticas de los productos secos obteniéndose resultados considerados como de buena calidad. El contenido de humedad determinado coincide con lo reportado en tablas de referencia consultadas.

Actualmente se están llevando a cabo análisis para determinar componentes constitutivos y comparar contenidos respecto del producto fresco así como para incorporar al secadero una fuente adicional de energía basada en gas metano generado a partir de digestión anaeróbica.

Como resultado del programa de extensión impulsado por la Universidad denominado "La universidad en el Medio", en la actualidad se cuenta con 6 secaderos transferidos y funcionando en diferentes localidades de las provincias de Corrientes, Chaco, Córdoba y Sante Fé.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a la Asociación de Fruti-horticultores, Granjeros, de Producción no Tradicional y Afines, en especial a su Presidente, Cdor. Porfirio Hermosilla, por el apoyo, tanto financiero como material, que hace posible la realización de este trabajo. Así mismo, nuestro agradecimiento al Ing. Manuel Vassallo por permitir la utilización del biodigestor de su propiedad.

REFERENCIAS

- Benkert S. (1995), Modellierung und Experimentelle Uberprufung einer Pilotanlage zur solaren Holz Trocknung, Universidad Técnica de Munich.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, Wiley Interscience, New York.
- Mazzei, M.E.; Puchulu, M.R. y Rochaix, M.A., (1995). Tabla de Composición Química de Alimentos, 2da. Edición. CENEXA – FEIDEN.
- Sodha M., Bansal N., Kumar A., Bansal P., Malik M. A. S., (1990). Solar Crop Drying, Vol. II. CRC Press.
- Resendiz Pacheco O., Changoyan J., Flores A., Rodríguez J. A., (2000), Secado de Pulpa de Mango en un Secador de Laboratorio Tipo Tunnel, DAS 11-06 ANES/ISES 2000.
- Groppelli E., Giampaoli O. (2001), El Camino de la Biodigestión – Ambiente y Tecnología Socialmente Apropiaada, UNL Ciencia y Técnica.