

# CARACTERIZACION DEL SECADO DE PRODUCTOS AGRICOLAS CON RADIACION

V. Passamai, L. Saravia\*  
INENCO-UNSa  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

V. García, A. Iriarte†  
INENCO-UNCa  
Avda. Belgrano y Mtro. Quiroga - 4700 Catamarca

## RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo son: describir la metodología empleada para la realización de experiencias de secado de productos agrícolas, con y sin radiación incidente y el aporte auxiliar de energía; presentar los resultados obtenidos para algunos casos particulares; y mencionar algunas dificultades técnicas encontradas y cómo fueron superándose.

La finalidad de dichas experiencias fue la *caracterización* de los procesos de secado para cada producto, acordes con las condiciones de radiación, temperatura, humedad y velocidad del aire a que se sometieron.

Se presentan gráficamente los resultados obtenidos sintetizándose en una misma figura el impacto que sobre el producto tienen las distintas variables que afectan su curva de secado. Dichos resultados son de interés para el agricultor que se incline hacia la realización del proceso de secado pos-cosecha, como medio para el agregado de valor a su producción y con perspectivas de competir comercialmente tanto en el mercado local como en el internacional.

## INTRODUCCION

Desde hace algunos años [1] se viene trabajando en el secado solar de distintos productos agrícolas, teniendo en cuenta fundamentalmente diferentes posibilidades de diseño acordes con la disponibilidad del recurso solar. Uno de los objetivos perseguidos fue la obtención de modelos del secado que, una vez introducidos en la simulación del funcionamiento del equipo, permitieran conocer cuantitativamente el comportamiento de algunas variables involucradas en el proceso, tales como las humedades absoluta y relativa del ambiente, o bien para realizar el diseño de nuevas alternativas para el secado solar, como es el caso de la introducción de los secaderos-invernaderos.

En fecha más reciente [2,3], experiencias de campo con resultados adversos para el producto que se deseaba secar, llamaron la atención, por un lado, hacia la conveniencia de introducir calefacción auxiliar para asegurar el secado bajo condiciones bromatológicas adecuadas y, por el otro, de realizar experiencias de laboratorio que permitan caracterizar adecuadamente las exigencias de cada producto para la obtención de una óptima calidad. Es hacia este sentido que está dirigido el presente trabajo.

## MATERIAL Y METODO

Se realizó el secado de algunas frutas y hortalizas bajo la acción de la radiación proveniente de una lámpara incandescente de tungsteno que permite obtener una intensidad a nivel del producto de hasta  $850 \text{ W/m}^2$ . El vegetal va colocado sobre una bandeja, con una capacidad de 250 g y un área de 30 cm x 30 cm, dentro de un túnel de secado que se ha descrito en una publicación anterior [4]. Como sistema auxiliar de calefacción se usó una vela de cuarzo de 600 W de potencia, permitiendo el conjunto obtener una temperatura máxima de bulbo seco de alrededor de 45 °C. El aire se puso en movimiento mediante un ventilador de 1/4 HP y la velocidad del mismo se mantuvo alrededor de 1,0 m/s.

Un sistema de captación de datos compuesto por un datalogger "Keithley" y el programa "Soft500" de la misma firma permite la captura y almacenamiento de los datos de temperatura y peso. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire dentro de la cámara de secado, así como la del producto se miden mediante una delgada

\*Investigador SAPIU-CONIGET

†Investigador del CONICET

termocupla de cobre-constantán, introducida dentro de una rodaja o trozo de fruto. En una publicación reciente [5] se describió la parte esencial del equipo consistente en una balanza mecánica Mettler a la que se adaptó un diminuto puente de Wheatstone que permite la transducción de la señal de desplazamiento del plato de la balanza, el que va a su vez unido mediante un vástago a la bandeja de producto.

Como procedimiento general, válido para frutos tales como banana, manzana, cebolla o zanahoria, se pelan si es necesario (banana, cebolla) y luego se cortan en rodajas de 0,7 cm de espesor aproximadamente. Para el caso de bananas y zanahorias se optó por cortar longitudinalmente; las primeras en tres trozos y las zanahorias en los que fueren necesarios según cada ejemplar. Las manzanas no se pelaron pero se extrajeron las semillas de las rodajas del medio. Los pimientos se parten en dos, se separan las semillas y se presentan las superficies a la acción de la radiación y el aire de secado. Se coloca el producto de modo que se alternen las áreas internas y externas expuestas a la radiación.

Se coloca luego el producto en la bandeja, se introduce una delgada termocupla en alguna de las partes expuestas del mismo con el objeto de determinar su temperatura  $-T_{fr}$  y se cierra la cámara con una tapa de vidrio que permite el paso de la radiación e impide el escape del aire. A continuación se comienza la captación de los datos corriéndose un programa escrito en el lenguaje BASIC ampliado de Keithely, que comanda el equipo. Para este momento el aire del secadero debe encontrarse en condiciones estacionarias de temperatura y humedad pues el sistema de ventilación y calefacción se enciende con la suficiente antelación (entre una y dos horas) según las condiciones necesarias.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Las Figuras de las páginas siguientes, obtenidas por procesamiento de los archivos de datos mediante el programa Quattro Pro 3 [6], resumen con bastante detalle las características particulares de cada proceso y el resultado de cada uno.

Se puede dividir el conjunto de experiencias realizadas en *tres*, coincidiendo con la numeración dada a cada Figura. Así, la Figura 1 muestra las curvas del secado de *banana y manzana*, con tres niveles de radiación (nula, media y alta). En ordenadas se indica la curva descendente de *peso* expresado como porcentaje del peso inicial, las temperaturas de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) y húmedo ( $T_{bh}$ ) del aire así como la del fruto expresadas en grados Celsius; y en abscisas el *tiempo* expresado en horas. La Figura 2 presenta el secado de *cebolla y zanahoria* y la Figura 3 el de *pimiento rojo y pimiento verde*, ambos de la variedad denominada *morrón*.

Para poder comparar las distintas velocidades de secado se puede observar que las temperaturas de bulbo seco y húmedo se han mantenido, en lo posible, dentro de los mismos márgenes. La temperatura de fruto, señalada mediante líneas discontinuas, comienza siendo en casi todos los casos muy parecida a la de bulbo húmedo del aire, para ir luego subiendo rápidamente al principio y alcanzar la de bulbo seco. En algunos de los casos experimentados, dicha temperatura llega a superar la de bulbo seco en unos cuantos grados cuando el producto recibe radiación incidente sobre su superficie.

Para cada fruto se muestra el resultado de la superposición de las curvas de secado obtenidas para distintos valores de la *radiación (I)* como parámetro, medida en  $W/m^2$ , observándose en general que los tiempos del proceso disminuyen con el aumento de la misma. Dado que pueden observarse algunas particularidades para cada producto que lo pueden caracterizar, se describe a continuación cada caso.

### -SECADO DE BANANAS.

Observando en las tres primeras gráficas de la Figura 1 la evolución de la temperatura  $T_{fr}$ , podría concluirse, especialmente en base a la última de ellas, que la radiación influye notablemente en el proceso. Sin embargo, el haber obtenido en la cuarta gráfica una curva correspondiente a los  $820 W/m^2$  muy *pegada* a la de  $500 W/m^2$ , hace pensar que *el aumento de radiación incidente sobre este producto no trajo aparejada una gran disminución del tiempo de secado*, bastando  $500 W/m^2$  para reducir el peso del producto hasta la *mitad* con una antelación de *cuatro horas* (40% del total) con respecto al mismo proceso sin radiación, como lo muestra la doble flecha trazada sobre dicha gráfica.

De la observación del producto seco, puede explicarse lo dicho antes por el hecho que los trozos de banana expuestos a los mayores niveles de radiación presentan en su superficie una mayor *pegajosidad* y aspecto húmedo, como si hubiera migrado mayor cantidad de azúcares que en el caso de secado sin radiación o con menor nivel. Esto habría producido una *impermeabilización* de la superficie por la caramelización que se observa, retrasando la pérdida de agua. Como conclusión, podría recomendarse que *el secado de bananas es conveniente realizarlo en hornos de secado sin aporte de radiación directa sobre el producto, lo que facilita la tecnología solar a emplear para el calentamiento de dicho aire*.

### -SECADO DE MANZANAS.

La secuencia de gráficas para el caso de manzanas, muestra por su parte que *es posible obtener una reducción del tiempo de secado en más del cincuenta por ciento cuando la radiación incidente sobre el producto es*

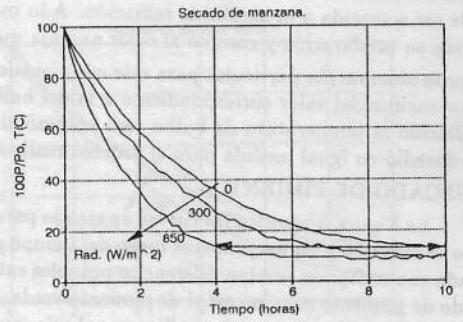
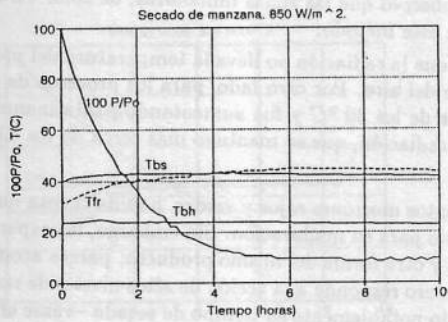
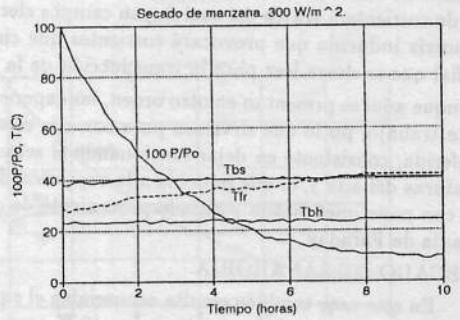
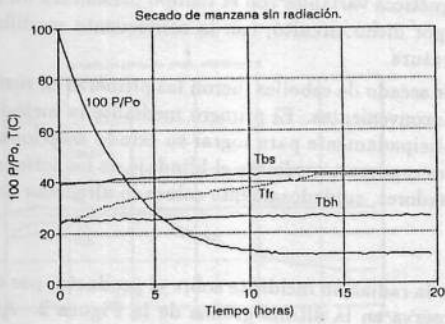
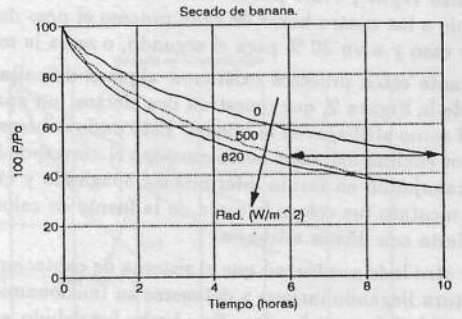
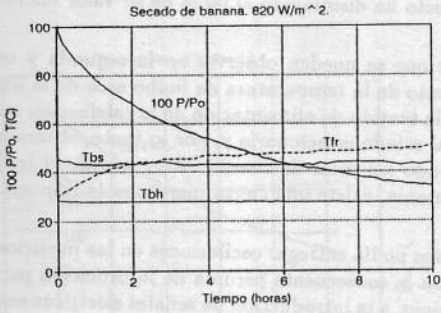
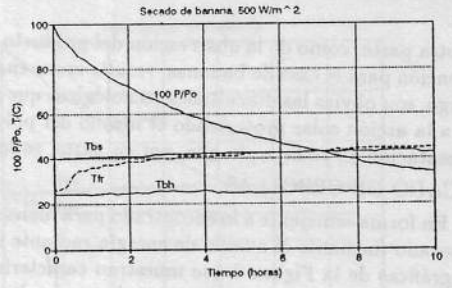
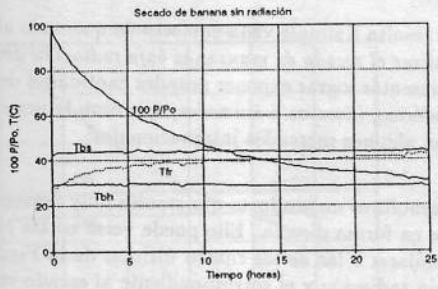


Figura 1: Secado de banana y manzana.

de  $850 \text{ W/m}^2$ , en comparación con el secado sin radiación. La última gráfica de la Figura 4 muestra además, que el secado de manzana es el que más se acelera si el producto recibe radiación incidente sobre su superficie durante el proceso.

Por otra parte, como de la observación del producto seco no resulta a simple vista el efecto de quemado al que se hizo mención para el caso de bananas, resulta recomendable realizar el secado de manzanas bajo radiación directa. Sin embargo, son obvias las dificultades tecnológicas que puede presentar lograr exponer grandes cantidades de este producto a la acción solar protegiendo el mismo del polvo atmosférico, insectos o animales; así como la necesidad de su presentación en rodajas, la que, por su parte, es la usual en algunos mercados internacionales<sup>1</sup>.

#### -SECADO DE CEBOLLAS.

En forma semejante a lo encontrado para manzanas, la cebolla es un producto que resulta muy conveniente para ser secado mediante el auxilio de energía radiante incidente en forma directa. Ello puede verse en las cuatro primeras gráficas de la Figura 2 que muestran características similares a las de las cuatro últimas de la Figura 1. Así, por ejemplo, de la comparación entre el proceso de secado sin radiación y el correspondiente al secado con un nivel de  $820 \text{ W/m}^2$ , como puede observarse en la cuarta gráfica de la Figura 2 mediante la doble flecha vertical, resulta que a las cuatro horas de cada proceso el peso del producto ha disminuído al 60 % de su valor inicial para el primer caso y a un 30 % para el segundo, o sea a la mitad.

Durante estos procesos existieron algunas dificultades las que se pueden observar en la segunda y tercera gráficas de la Figura 2, que muestran dos efectos: un apartamiento de la temperatura de bulbo seco de la línea de  $40^\circ\text{C}$  así como altibajos en la misma. Esto pudo deberse a que la tensión de alimentación de la calefacción auxiliar estuvo por encima del valor necesario para el correspondiente al estado estacionario y, por lo tanto, el termostato estuvo trabajando en forma intermitente apagando y encendiendo las velas de cuarzo. Aún cuando el bulbo de dicho termostato fue colocado cerca de la fuente de calor del sistema, existe una cierta inercia en la respuesta que se manifiesta con dichos altibajos.

Por otro lado se observó que el sistema de captación de datos podía entregar oscilaciones en las mediciones de temperatura llegando incluso a detenerse su funcionamiento, con la consecuente pérdida de información para una buena cantidad de experiencias. Este hecho fue debido, en principio, a la introducción de señales eléctricas espúreas por la falta de blindaje de las termocuplas de cobre-constantán. Sabido es que por la ley de Lenz todo circuito cerrado de corriente a través del cual fluyan campos electromagnéticos variables con el tiempo presentará un fuerza electromotriz inducida que provocará corrientes que circulan por dicho circuito, con la consecuente modificación de la señal que se desea leer para la transducción de la temperatura.

Aunque aquí se presentan en otro orden, las experiencias de secado de cebollas fueron las primeras en realizarse para este trabajo, po lo que sirvieron para corregir estos dos inconvenientes. El primero mediante la metodología antes referida, consistente en dejar funcionando el secadero anticipadamente para lograr su estado estacionario en temperaturas del aire y, el que se debía a la captación de señales espúreas, mediante el blindaje de las termocuplas logrado con papel metalizado y aislado proveniente de condensadores, cuidadosamente colocado alrededor de cada una ("jaula de Faraday").

#### -SECADO DE ZANAHORIA.

En este caso también resulta aconsejable el empleo de la radiación incidente sobre el producto, por cuanto disminuye el tiempo total de secado en un 40 %, como se observa en la última gráfica de la Figura 2. Al igual que para los casos de manzana y cebolla, la zanahoria seca no presentó características desfavorables en su aspecto luego de ser sometida a la acción de radiación. Aún más, se observó que las zonas inmaduras, de color verde, ven favorecida su maduración y cambio al color naranja mediante este método.

Como observación particular para este caso, puede verse que la radiación no lleva la temperatura del producto muy por encima del valor correspondiente a la del bulbo seco del aire. Por otro lado, para los procesos de secado con radiación la temperatura de bulbo seco empezó alrededor de los  $30^\circ\text{C}$  y fue aumentando paulatinamente, lo que no sucedió en igual medida para el proceso realizado sin radiación, que se mantuvo más cerca de los  $40^\circ\text{C}$ .

#### -SECADO DE PIMIENTOS.

La Figura 3 muestra las curvas de secado para pimientos morrones rojos y verdes, habida cuenta que estos últimos se convierten en los primeros luego del tiempo necesario para su maduración. Sin embargo, las experiencias de secado con radiación revelan diferencias notables entre una y otra forma del mismo producto: parece aconsejable el secado de pimiento rojo, no así el de pimiento verde. El primero responde a la acción de altos niveles de radiación en forma similar a la manzana, cebolla y zanahoria, reduciendo notablemente su tiempo de secado -véase el cuarto gráfico de las Figuras 3 y 4-, no así el pimiento verde, como puede verse en el mismo gráfico.

Para los niveles de radiación y temperaturas que fueron empleados no se observó efecto de quemado en el

<sup>1</sup>Este producto de importación cuesta no menos de US\$ 30 por kg para el consumidor minorista local, cuando un kg de manzana fresca tiene un precio de US\$ 1,5 para el público, lo que hace que el producto seco cueste el doble que el mismo producto fresco, tomando como base de comparación un producto seco cuyo peso sea el 10 % del peso fresco.

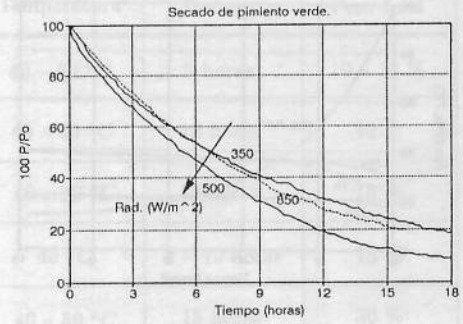
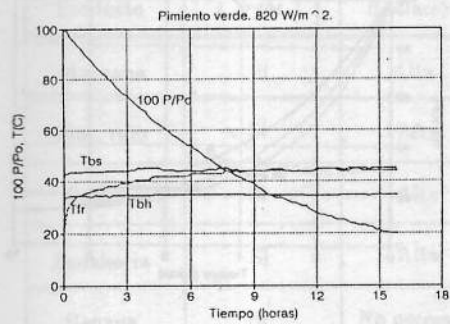
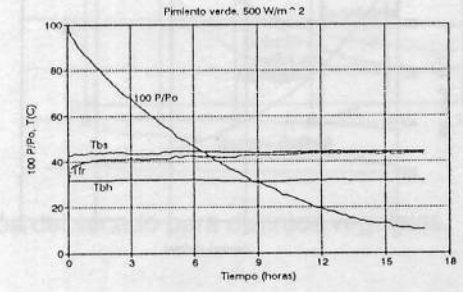
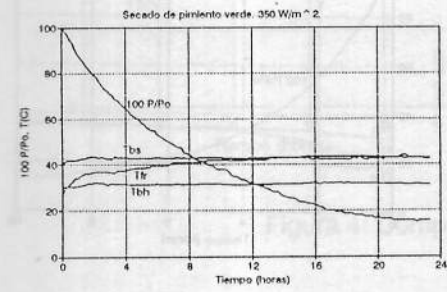
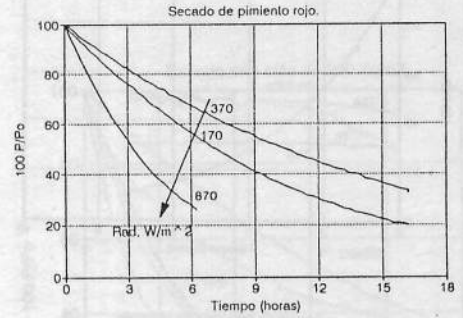
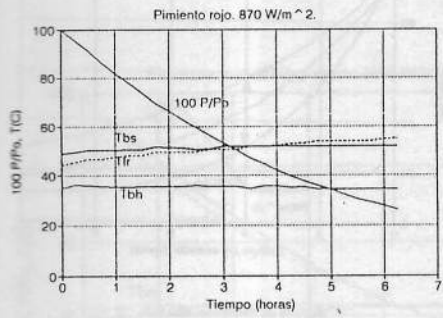
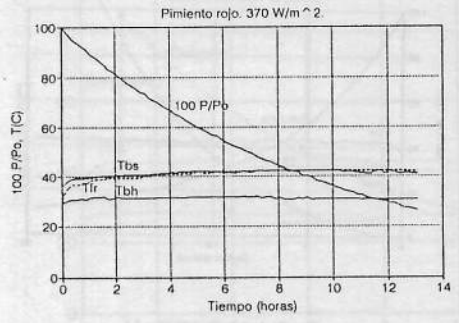
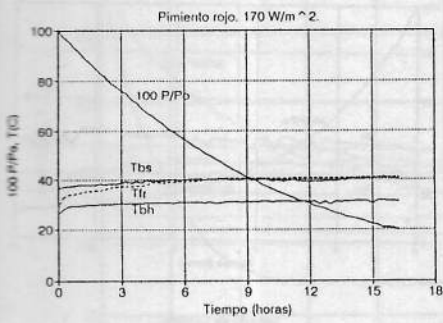


Figura 3: Secado de pimiento rojo y verde.

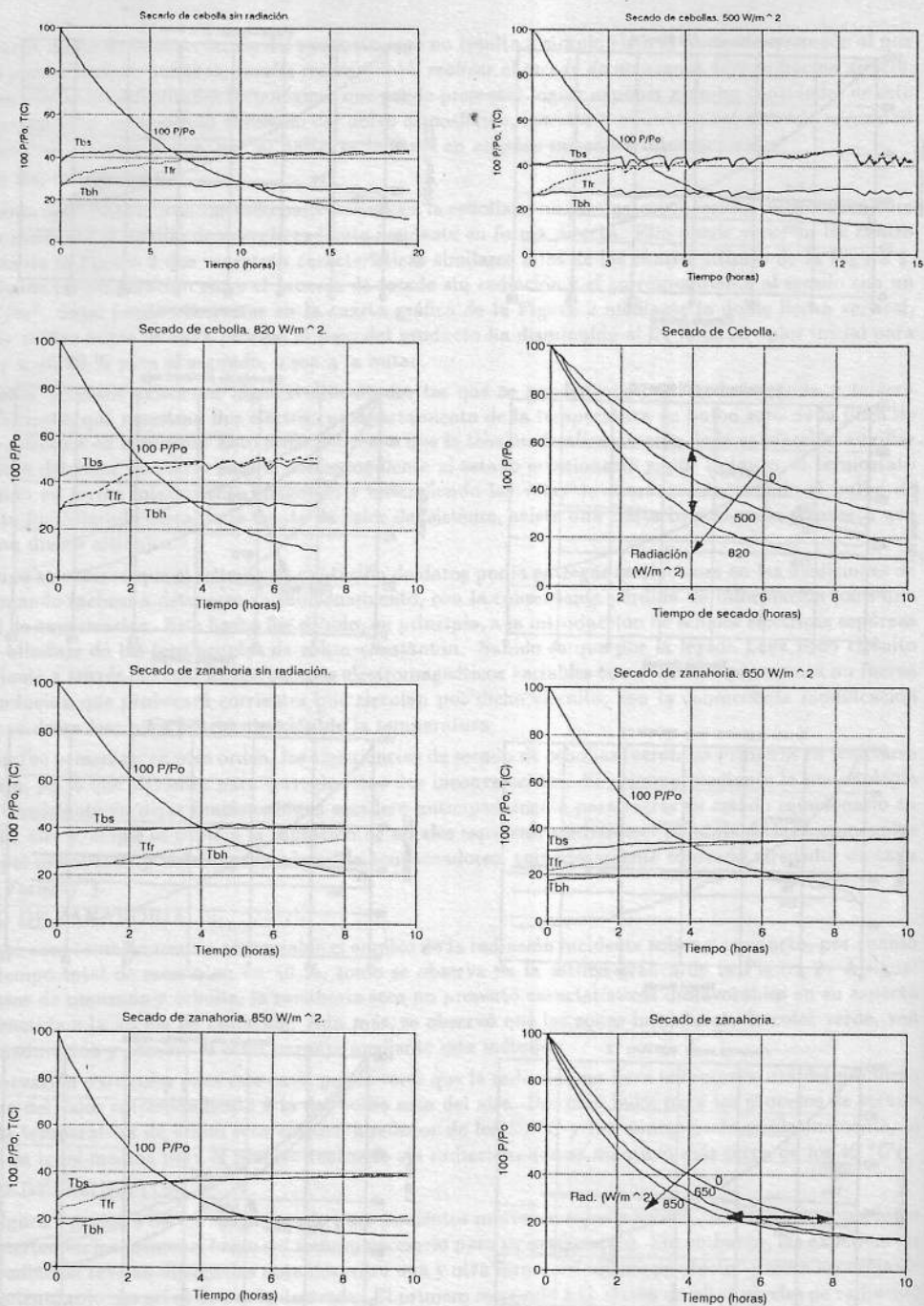


Figura 2: Secado de cebolla y zanahoria.

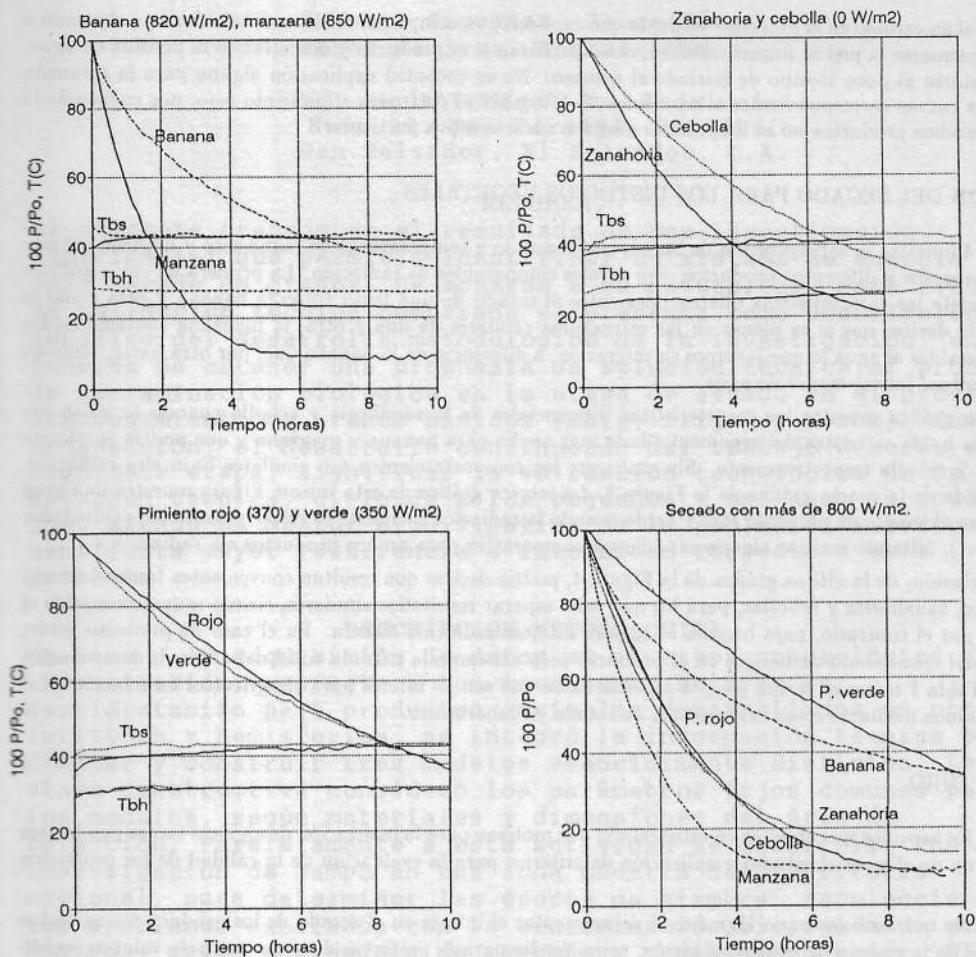


Figura 4: Comparación del secado para distintos vegetales.

Producto	¿ Secar ?	Radiación	Temperatura	Tiempo	Peso final
Manzana	Sí	Alta	40 - 50 °C	5 horas	10 - 15 %
Pim. rojo	Sí	Alta	40 - 50 °C	10 horas	20 %
Cebolla	Sí	Alta	40 - 50 °C	10 horas	15 %
Zanahoria	Sí	Alta	40 °C	8 - 10 horas	15 %
Banana	Sí	No necesaria	40 - 50 °C	15 horas	30 %
Pim. verde	No	—	—	—	—

Tabla 1: Algunos datos de interés.

pimiento rojo y sí en cambio en el pimiento verde, lo que explicaría su comportamiento anómalo durante el secado a  $850 \text{ W/m}^2$ : al quemarse la piel se impermeabilizó, desnaturalizando el producto y dificultando la pérdida de agua, lo cual pudo notarse al poco tiempo de iniciado el proceso. No se encontró explicación alguna para la inversión observada en las curvas correspondientes a los niveles de 170 y  $370 \text{ W/m}^2$  para el pimiento rojo, por cuanto de la observación de ambos productos no se desprende ninguna característica particular.

## COMPARACION DEL SECADO PARA LOS DISTINTOS VEGETALES

La Figura 4 muestra la superposición de las curvas de secado y temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire para distintos procesos y diferentes productos, con niveles comparables de radiación. La primera de estas gráficas muestra claramente las características diferenciales entre el secado de una fruta como la banana y otra como la manzana. Puede decirse que si se piensa en las estructuras celulares de una y otra, la manzana contiene celdas fácilmente permeables al agua lo que favorece su migración, a diferencia de la banana que, por otra parte, tiene un contenido porcentual inicial menor de agua.

La segunda gráfica muestra las características diferenciales de la zanahoria y cebolla cuando se secan *sin radiación*, lo que habla en contra del argumento dado más arriba para banana y manzana y que podría emplearse para zanahoria y cebolla respectivamente. Sin embargo, los comportamientos son similares bajo alta radiación, como se desprende de la cuarta gráfica de la Figura 4. La tercera gráfica de esta misma Figura muestra una gran coincidencia para el secado de pimiento rojo y verde cuando la radiación incidente es relativamente baja (alrededor de los  $360 \text{ W/m}^2$ ), faltando realizar alguna experiencia comparativa para ambos productos sin radiación.

Como conclusión, de la última gráfica de la Figura 4, podría decirse que resultan convenientes tanto el secado de pimiento rojo, zanahorias y cebollas, para los que cabe esperar resultados similares, siendo muy aconsejable el de manzana y, por el contrario, para banana se sugiere no usar radiación directa. En el caso de pimiento verde, la observación del crecimiento de hongos en el producto seco así como la pérdida total del aroma<sup>2</sup>, desaconsejan su secado. La Tabla I reúne en forma concisa algunos datos que son de interés para el agricultor en relación a los resultados obtenidos mediante estas experiencias de secado en laboratorio.

## TRABAJO FUTURO

Son varios los aspectos no cubiertos en este trabajo que motivan para la realización de algunas tareas pendientes en el futuro. Una de ellas es el estudio y aplicación de criterios para la evaluación de la calidad de los productos secos.

Otro objetivo que será necesario lograr es el de acrecentar el interés en el secado de los productores agrícolas o intermediarios de la cadena de comercialización, como medio para la preservación y aumento de valor agregado de sus productos. Para ello podría acercarse la documentación que se produzca en este sentido a fin de motivarlos y darles a conocer las posibles iniciativas, así como para recibir de ellos mismos las sugerencias que crean necesario realizar. También, según se dijo, faltan realizar algunas experiencias de secado de pimientos sin radiación para poder compararlas con el proceso bajo radiación.

## REFERENCIAS

- 1.- Trabajos de la Sección *Aplicaciones Agrícolas de la Energía Solar*, Actas de ASADES, 1978 a 1986.
- 2.- Saravia, L. y Condorí, M.: *Secador Invernadero de tipo túnel*, ASADES, Catamarca, 1992.
- 3.- Passamai, V. y Saravia, L.: *Pruebas de secado en un equipo de laboratorio*, ASADES, Catamarca, 1992.
- 4.- Passamai, V. y Saravia, L.: *Túnel experimental para la obtención de curvas de secado*, V Congreso Ibérico y IV Iberoamericano de Energías Renovables, Madrid, 1990.
- 5.- Passamai, V. y Hoyos, D.: *Conversión de una balanza mecánica en electrónica*, AFA, 1991.
- 6.- Cobb, S.: *Aplicación Quattro Pro 3*, Osborne/McGraw-Hill, Madrid, 1992.

<sup>2</sup>Observaciones realizadas sobre procesos similares a los presentados en este trabajo.