

EXPERIMENTACION EN EL SECADO DE ARROZ Y GIRASOL(*)

M.A. Lara, A. Cortés, A. Cassinera y R.D. Piacentini

1. INTRODUCCION

Entre los granos que requieren secado artificial post-cosecha para su conservación, existen algunos que presentan inconvenientes de diverso tipo para su tratamiento en secadoras convencionales.

En el caso del arroz, que es cosechado normalmente con alto contenido de humedad, el hecho de ser secado con cáscara y después de cascarado determina una elevada proporción de granos rotos o quebrados durante las operaciones posteriores si el secado tiene características tales que el cereal emerge de este proceso con excesiva fragilidad o tensiones internas. El secado en silo, lento, tal como el secado solar, constituye entonces una alternativa interesante para el procesamiento de este grano, dado que se realiza a baja temperatura.

El girasol es quizás el grano más peligroso, de todos aquellos comunes en nuestras zonas agrícolas, en lo referente al secado convencional. El secado a alta temperatura de esta oleaginosa es un proceso que requiere especiales cuidados porque está muy expuesto a los peligros de incendio. Debido al alto porcentaje de aceite que posee, al ser calentado, origina diversos compuestos y gases combustibles que pueden provocar focos inflamables. Por otra parte, la forma especial de la semilla y su rugosidad natural contribuyen a una mayor dificultad para su transporte por tuberías y conductos, dificultad que se acrecienta con el contenido de humedad. Esto, junto con las impurezas que acompañan a las semillas, causa atascamiento en las columnas o en los caballetes de las secadoras, donde pueden iniciarse los siniestros(1).

El girasol destinado a semilla sufre variaciones en su poder germinativo de acuerdo al porcentaje de humedad de cosecha y a la temperatura de secado. Así, semillas cosechadas con 14% de humedad, secadas a 30°C presentan un poder germinativo del 89,5%, mientras que las secadas con la misma humedad a 70°C registraron un poder germinativo de sólo 17%(2).

En el equipo para secado solar de granos de 35 tn. de capacidad presentado anteriormente (2) se procesaron cargas de arroz y girasol. Se empleó en todos los casos únicamente el banco de colectores solares metálicos desnudos de 25 m².

Durante la experiencias de secado se realizaron mediciones de

(*) Trabajo realizado con fondos provenientes de subsidios de SECyT y CONICET
Grupo de Energía Solar - Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR)
Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario

3. SECADO SOLAR DE GIRASOL

Se cargó el silo el 23/2/87 con 11,64 tn. a una humedad promedio del 11,6%, comenzándose el ensayo con secado diurno. El segundo y el cuarto días fueron lluviosos, manteniéndose el equipo apagado. Durante el tercer día se registra una reducción considerable de la humedad de la capa inferior, y en menor medida del resto, alcanzando la humedad promedio el valor conforme (9%). Al volver a operarse el equipo con fines de experimentación en solamente dos días se logra llevar a todo el producto muy por debajo de la humedad conforme.

Dado que el grano se había sobresecado, se interrumpió el secado diurno y se procedió, en cambio, a operar el equipo por la noche, durante dos días. Se registro entonces una recuperación parcial de humedad, que es más marcada en la capa inferior.

La circulación nocturna sobre el producto seco produce una transferencia de agua del aire al grano. Esto se corresponde con la reversión de las curvas de humedad relativa de entrada y salida del aire, siendo ahora mayor la primera (Fig. 2).

Como la absorción de la humedad del aire por los granos de la humedad del aire tiene lugar primero en las capas inferiores (que por otra parte son las más secas y por ende higroscópicas), el flujo llega a la parte superior con menos humedad, siendo el efecto de rehumectación más moderado en esta zona.

Comparando el comportamiento de estas capas en las noches con y sin flujo de aire, se observa como desaparecen en el primer caso los picos de humedad que se producían cuando el aire húmedo estancado en la parte no ocupada del silo se condensaba por la noche en los granos de la parte superior. Tal es la situación en la quinta, sexta y séptima noches.

El ritmo de evaporación de agua por unidad de tiempo y de masa del producto para todo el proceso es de 0,00071 l/h es decir sensiblemente inferior al caso del arroz, debido a la baja humedad inicial del girasol, que dificulta la extracción de cada punto adicional de humedad. A pesar de ello, el cociente de energía eléctrica consumida sobre la empleada en la evaporación del agua es de 0,49, es decir no muy superior al caso anterior, debido a que la menor velocidad de secado se compensa por tratarse del procesamiento de una mayor cantidad de grano, lo que vuelve el proceso energéticamente más eficiente.

Dentro del secado se pueden distinguir en este caso tres etapas. En la primera (primer a sexto días), todo el grano alcanza la humedad conforme, registrándose una velocidad de secado relativamente elevada (0,00213 l/h), así como un cociente consumo energético / energía útil bajo (0,168). Durante los dos días subsiguientes el ritmo de secado decrece a 0,000521 l/h, a pesar de las excelentes condiciones ambientales ya que se practica secado diurno. La relación energética aumenta a 0,64 en esta etapa. En la última (octava y novena noches) se invierte el proceso para rehumectar el grano, obteniéndose valores de -0,0008 l/h y -0,49 para los parámetros considerados. Cabe destacar que de haberse practicado el secado con fines comerciales y no de experimentación, debería haberse interrumpido el proceso al cabo de la primera etapa.

En términos generales se puede concluir que la humedad de equilibrio del girasol para los valores de humedad relativa y temperatura alcanzados con el empleo de los colectores es excesivamente baja, es

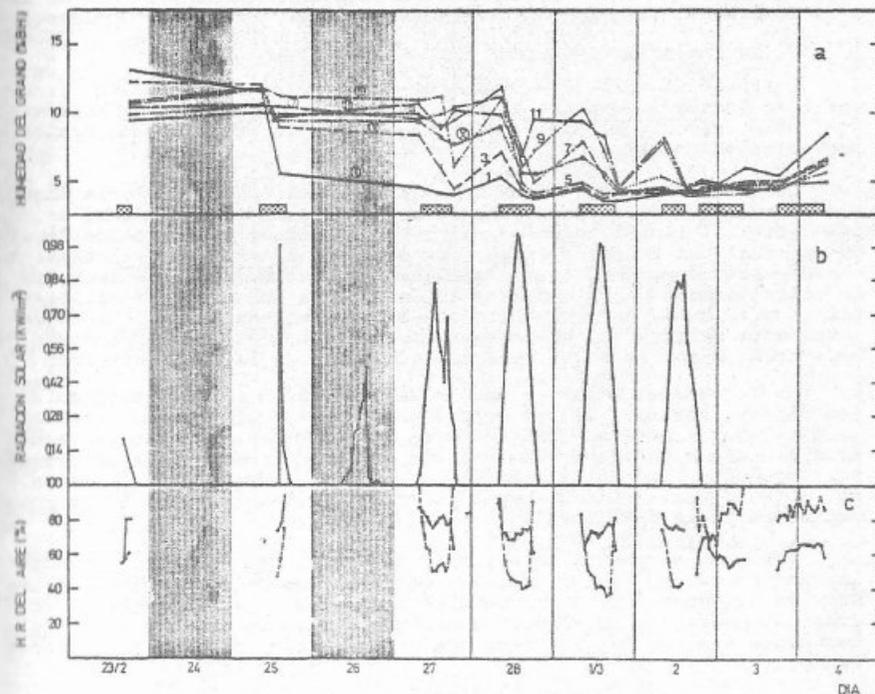


Figura N°2: SECADO SOLAR DE GIRASOL

- a. Variación de la humedad del grano a distintas alturas (1 capa inferior, 11 capa superior, x humedad promedio) en función del tiempo
- b. Radiación solar incidente en el plano de los colectores
- c. Humedad relativa del aire: ----, entrada al silo, —, salida del silo.

decir el secado solar produce en este caso un gran sobresecado del producto, tornándose aún más difícil el control de este factor por ser pequeña la variación de humedad requerida. Por lo tanto, este puede ser un caso, dentro de las características agrícolas y climáticas de la zona, en el que puede resultar de interés el secado natural del producto en silo, es decir, sin precalentamiento del aire.

los granos a diferentes alturas tres veces por día, mientras el motoventilador estaba operando. También se registraron, en forma continua, el consumo energético, la radiación solar incidente sobre los colectores mediante piranómetros Kipp & Zonnen y las temperaturas ambiental y del grano a diferentes alturas, empleando termocopias de cobre-constantan. Las humedades del aire a la entrada y salida de la masa de granos, se midieron con termocopias de bulbo seco y húmedo.

2. SECADO SOLAR DE ARROZ

Se cargó el 15/5/87 al silo con 6 tn. de arroz tipo largo fino, variedad Macías-5, con una humedad inicial de 29,9% (b.h.). Este valor, relativamente alto, se debía en parte a la presencia de granos provenientes de rebrote.

Durante los primeros dos días se operó el equipo en forma continua. Se observa en la primer noche una reducción en la humedad de las capas inferiores, dado que al ser tan elevado el contenido de agua inicial del grano; el aire, aun entrando a humedades relativas tan elevadas como 90%, poseía una capacidad de secado, que se puede apreciar también comparando las HR del aire a la entrada y salida del silo (Fig. 1). Al principio el aire que egresa del silo lo hace totalmente saturado produciéndose cierta condensación en las capas superiores mientras sigue cayendo la humedad de la capa inferior.

En la segunda noche en cambio se registró una rehumectación de las capas inferiores de los granos dado que al haber experimentado ya éstas una importante reducción en su contenido de agua, se encuentran ahora por debajo de los valores de humedad de equilibrio con el aire nocturno. La comparación de las humedades de entrada y salida del aire en este período permite también constatar una moderada rehumectación de la masa total.

Por ello se pasó a interrumpir la circulación de aire durante las noches subsiguientes, verificándose en los días sucesivos una reducción del contenido de humedad de todas las capas, a pesar de lo cual aun se observa en algunos casos un incremento en la humedad de las capas superiores, fenómeno que es necesario atribuir a la condensación.

El cuarto y quinto día son de baja radiación y durante los mismos no se aprecia secado de las capas inferiores, pero las superiores siguen secándose, debido a la capacidad de secado acumulada en la parte inferior del grano. Así, las curvas de humedad relativa del aire no presentan en este período diferencias importantes ya que la remoción global de agua no es grande en este lapso.

El sexto día el motor no operó, y la elevada radiación de los dos días subsiguientes permiten el descenso de la humedad de toda la masa de cereal.

La operación del equipo se detiene al final del octavo día habiéndose alcanzado una humedad promedio del grano dentro de la tolerancia de recibo en planta acopiadora.

La masa de agua evaporada por unidad de tiempo y de masa total de cereal es de 0,00211 l/h. El cociente entre la energía eléctrica consumida por el motoventilador de 5 HP y la energía empleada en evaporar agua de los granos es de 0,41. Calculando estos valores por separado para los períodos de secado continuo (primeros tres días) y de secado diurno (cuarto a octavo día) se obtienen de secado de 0,0023 l/h y 0,0032 l/h y cocientes energéticos de 0,46 y 0,22. Esto

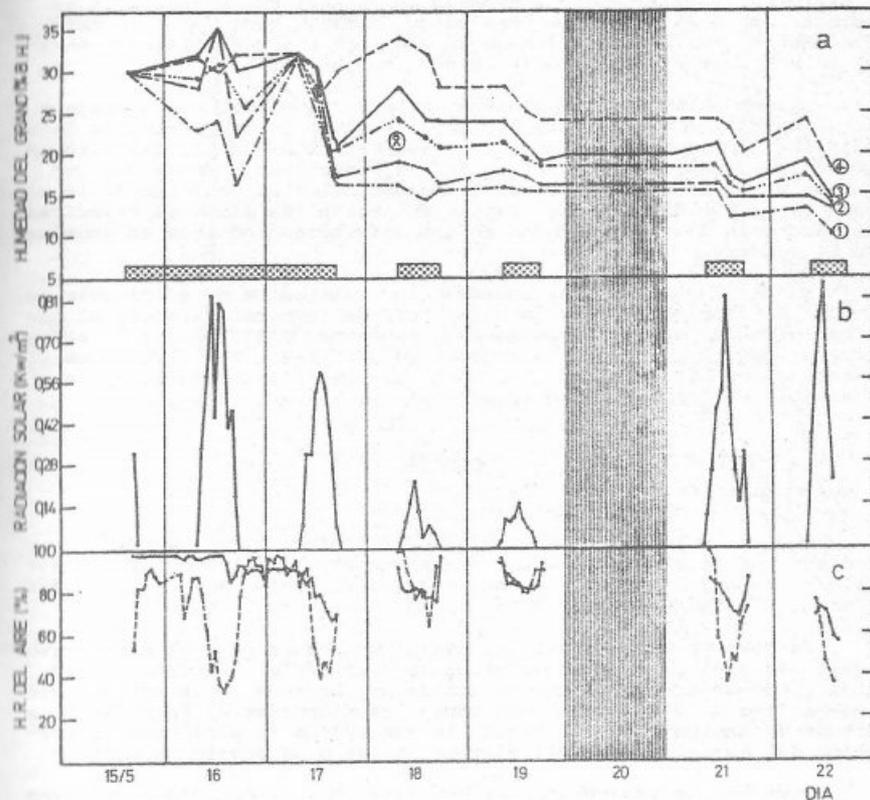


FIGURA N°1: SECADO SOLAR DE ARROZ

- Variación de la humedad del grano a distintas alturas (1 capa inferior, 4 capa superior, x humedad promedio) en función del tiempo.
- Radiación solar incidente en el plano de los colectores
 ■■■■■ día de lluvia.
- Humedad relativa del aire: ---, entrada al silo, —, salida del silo.

indica una aceleración del ritmo de secado y un menor consumo relativo de energía eléctrica al emplear únicamente secado diurno.

4. ENSAYO DE BANCO DE COLECTORES PARA SECADO

El banco de colectores solares desnudos había estado en funcionamiento durante 5 años, sin haber requerido tareas importantes de mantenimiento. Se procedió a renovar la pintura de las superficies captoras de radiación solar, empleando la misma pintura negro mate marca Sherwin-Williams utilizada originalmente y se realizaron ensayos de eficiencia antes y después de esta operación.

Dichos ensayos se efectuaron variando el caudal que circulaba por el banco y midiendo esta variable mediante un anemómetro de hilo caliente. También se midieron las temperaturas ambiente, del aire en diferentes localizaciones dentro de los colectores y sobre sus cubiertas superior e inferior. La radiación solar se registró de la misma forma que durante los ensayos de secado. Se midió la velocidad del viento en las proximidades de los colectores mediante un anemómetro de cubetas.

En las Figs. 3 y 4 se muestran los resultados de eficiencia en función del cociente entre la diferencia de temperatura entre el punto medio de la placa absorbente y la ambiente, dividida por la radiación incidente $(T_p - T_a)/H$. Se indican en cada caso las regresiones lineales de los puntos obtenidos. Dadas las variables escogidas, la eficiencia de los colectores resulta ser:

$$\eta = \alpha + U_p \frac{(T_p - T_a)}{H}$$

Quedando por lo tanto representada la absorptividad α de la placa superior por la ordenada al origen, y el coeficiente medio de pérdidas U_p por la pendiente de la curva.

Se observa que a pesar del tiempo transcurrido y el progresivo viraje hacia el gris en el color de la superficie, la absorptividad en el rango solar sufrió una reducción muy pequeña. Cabe señalar que el deterioro de la pintura constituía prácticamente el único signo aparente de degradación del banco, lo que indica la excelente conservación del estado de uso del sistema en las condiciones de campo.

Durante los ensayos con el colector recién pintado se tuvieron velocidades de viento bastante menores que en el otro caso, causa que explica la mayor pendiente registrada al ensayar el colector envejecido.

Esta explicación está corroborada por la comparación de las gráficas experimentales obtenidas con las que se consiguen mediante simulación numérica de los colectores desnudos empleando un modelo matemático presentado anteriormente (4). Se observa que la tendencia está bien representada por el modelo, aunque en el caso de mayor velocidad del viento el ajuste no es suficiente. Esto se debe probablemente a una subestimación en la velocidad media del viento en los colectores, debido a la ubicación del anemómetro, ya que incrementando esta variable en el modelo, se logra un ajuste satisfactorio.

Se puede destacar los elevados valores de eficiencia que se obtienen para aumentos de temperatura pequeños como los requeridos en este caso, para valores elevados de caudal. Este hecho se debe a la optimización previa de las dimensiones de los colectores mediante el

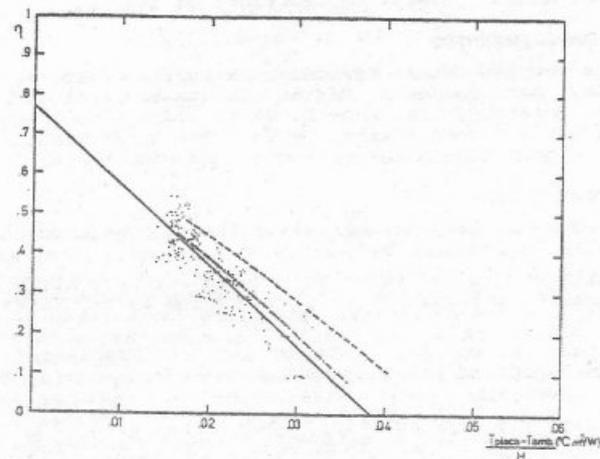


Figura 3: ENSAYO DEL BANCO DE COLECTORES SIMPLES LUEGO DE CINCO AÑOS DE ENVEJECIMIENTO

- Regresión lineal de los puntos experimentales
- Simulación numérica del colector en condiciones similares a las del ensayo (V viento = 1 m/seg).
- .-.- Simulación numérica para V viento = 1,5 m/seg.

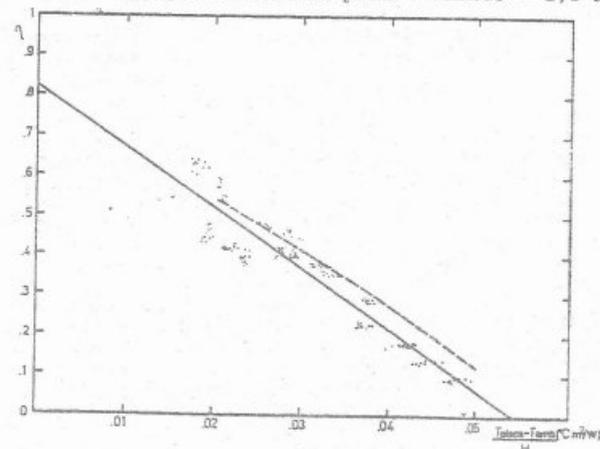


Figura 4: ENSAYO DEL BANCO DE COLECTORES SIMPLES RECIEN PINTADOS

- Regresión lineal de los puntos experimentales
- Simulación numérica del colector en condiciones similares a las del ensayo (V viento = 0,5 m/seg.).

empleo del modelo matemático descrito en (4).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la amplia colaboración prestada por el Ing. Agr. Carlos A. Périgo (Cámara arbitral de la Bolsa de Cereales de Rosario), Lic. Roberto Gaspar (Grupo de Energía Solar) y el productor arrocero Fosaroli y la Facultad de Ciencias Agrarias (UNR), que permitieron la realización de este trabajo.

REFERENCIAS:

- 1- C.A. De Dios, "Recomendaciones sobre el manejo poscosecha del girasol INTA, Pergamino, 1987.
- 2- P. Burghart, "L'influence du sechage sur la qualite des semences de tournesol". Information technique CETIOM N. 66, 35-44, Paris, Francia, 1979.
- 3- M.A. Lara, A. Cortés, R. Gaspar and R.D. Piacentini, "Solar grain drying in humid and hot-temperature climates". Drying Technology, 4(3), 415-438, 1986.
- 4- A. Cortés y R.D. Piacentini, "Colectores Solares de Aire de Diseño Simple". Actas de la V Reunión de Trabajo de ASADES, Córdoba, 1979.