

Nota Técnica

**EVALUACION DE UN SECADOR COLUMNAR
DE FLUJO CONTINUO PARA MAIZ¹**

*Ronald Jiménez **
*José María Alfaro ***

ABSTRACT

Evaluation of a continuous drying system for corn. This investigation was conducted in a corn processing plant of the Consejo Nacional de Producción of Costa Rica, in San Joaquín de Flores, Heredia, known as "La China" plant. The objective was to analyse the performance of the continuous drying system used in this plant. The psicrometric properties of air were measured at the inlet, plenum and outlet of the dryer. This information was used to calculate the drying efficiency and the overall thermal efficiency of the system. Some grain characteristics which affect the quality of corn, such as the moisture content, bulk density, foreign materials, broken kernels and heat damage, were also evaluated. The results show an average drying efficiency of 94% and an overall thermal efficiency of 74%, indicating a very good dryer performance and a better fuel utilization. Regarding the corn characteristics, it was found that the drying process increased the amount of broken and of heat-damaged kernels. The bulk density and the content of foreign material in the grain did not show a well defined pattern and seemed to be affected little by the current operating conditions.

INTRODUCCION

El secamiento de granos es el proceso de extraer parte del agua que trae el grano del campo con el propósito de obtener un contenido de humedad en equilibrio con el aire atmosférico normal, o un nivel de humedad en el cual la disminución en la calidad del producto, a causa del ataque de hongos, acción enzimática o insectos, sea mínima (Henderson, 1976).

Según Hall (1980), el proceso de secamiento de granos se lleva a cabo en dos períodos, un

período a velocidad constante y un período a velocidad decreciente.

En el primer período, el secado toma lugar desde la superficie del grano y es similar a la evaporación que ocurre en una masa de agua expuesta al aire ambiente. Este período se presenta sólo en productos que se cosechan con una humedad muy alta y en general no ocurre en el secado de cereales.

En el período de secamiento a velocidad decreciente, que es de gran importancia en el secado de granos, se produce un movimiento simultáneo de humedad dentro del material hacia la superficie (difusión líquida) y desde la superficie al medio (Hall, 1980). Frecuentemente se divide en dos fases, una de secamiento superficial no saturado, y otra, donde el flujo lento de agua por difusión dentro del producto, es el factor que gobierna el proceso.

El secamiento de granos en general, puede ser considerado como un proceso adiabático (Henderson, 1976). Esto implica que el calor requerido para evaporar la humedad del grano es su-

1/ Recibido para publicación el 4 de agosto de 1989.

* Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CI-GRAS) y Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Miembro del Programa Financiero de Apoyo a Investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Costa Rica (CONICIT).

** Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. Liberia, Guanacaste, Costa Rica.

ministrado únicamente por el aire de secamiento, sin transferencia de calor del medio exterior.

La eficiencia de secado da una idea del nivel de aprovechamiento de la capacidad de secado disponible en el aire. Numéricamente, es una relación entre la cantidad de humedad real removida por el aire y la humedad máxima que se podría extraer del grano bajo las mismas condiciones de secado (Christensen, 1982).

La eficiencia térmica total es una relación que indica qué tan bien el sistema de secamiento aprovecha la energía suministrada por el combustible. Numéricamente, es el cociente obtenido de dividir el calor que realmente se aprovecha para remover humedad del grano entre el calor suministrado por el combustible (Christensen, 1982).

Aunque en Costa Rica existen varias plantas procesadoras de maíz, todas propiedad del Consejo Nacional de Producción (CNP), se ha hecho poco o casi ningún esfuerzo para analizar técnicamente sus sistemas de proceso, dentro de los cuales el de mayor importancia es el de secamiento, ya que una demora o un secamiento realizado inadecuadamente puede producir pérdidas considerables en la calidad y peso del grano. Tomando como base estas consideraciones, el trabajo tuvo como objetivo fundamental analizar el sistema de secado de maíz de la planta "La China", y realizar una evaluación de las condiciones del grano durante el proceso de secado.

MATERIALES Y METODOS

Sistema de secamiento

El sistema de secamiento analizado consiste de un secador columnar de flujo continuo (Figura 1), ubicado en la planta "La China" en San Joaquín de Flores, Heredia. Este sistema combina el secamiento de flujo continuo con el secamiento de capa fija en columna. El grano en proceso se mueve a través del secador en un régimen de flujo continuo, haciéndose recircular cada cierto tiempo dependiendo del avance del secado y de la disponibilidad del elevador encargado de tal operación, el cual, también es empleado para otras actividades.

Condiciones psicrométricas del aire

La temperatura y la humedad relativa del aire de entrada al secador (condiciones ambiente) se midieron y graficaron continuamente a todo lo lar-

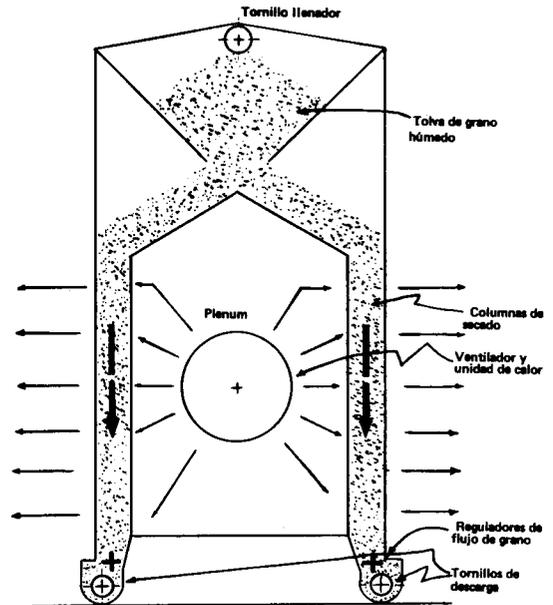


Fig. 1. Sección transversal del secador de flujo continuo con movimiento de aire perpendicular al flujo de grano.

go de la prueba utilizando un higrómetro previamente calibrado con un psicrómetro de onda.

Para comprobar posibles diferencias de temperatura en la zona de secado, se midió la temperatura del aire de secado en dos puntos dentro del plenum (Figura 1), y la temperatura del aire a la salida de las columnas de secado en tres puntos localizados a lo largo del secador. Las lecturas fueron hechas a intervalos de 30 min utilizando termopares tipo K y un termómetro digital tipo potenciómetro.

Caudal del aire de secado

Para determinar la cantidad de aire (flujo volumétrico) utilizado en el proceso de secado, se empleó un anemómetro de alambre caliente para medir radialmente las velocidades del aire y obtener un perfil de velocidad en el ducto que conduce al secador. Una vez calculada la velocidad promedio del aire, se multiplicó por el área transversal del ducto determinándose, para estas condiciones de temperatura, el caudal del aire que entra al secador.

Condiciones del grano

Durante el proceso de llenado del secador (capacidad aproximada de 17,5 t de maíz), el cual

tarda entre 30 y 45 min, se tomaron muestras de grano de 1 kg en la entrada del secador a intervalos de 5 min. Igualmente, durante el transcurso de las pruebas de secado y a intervalos de 30 min, se tomaron muestras de grano de 5 kg a la salida del secador, y de 1 kg en la columna de secado. Todas las muestras fueron recolectadas en bolsas plásticas debidamente identificadas y almacenadas en una cámara con temperatura controlada (15°C) para su posterior evaluación.

Los índices de calidad analizados incluyeron el contenido de humedad del grano, el cual se determinó utilizando el método directo del horno de convección forzada, y el indirecto con el medidor Motomco, modelo 919. Asimismo, se efectuaron mediciones de la densidad aparente con la ayuda de un densímetro y se evaluaron los daños por calor, el porcentaje de grano quebrado y la cantidad de impurezas presentes en las muestras, todo esto por inspección visual en submuestras de 100 g tomadas de las muestras primarias debidamente homogenizadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones psicrométricas del aire

La Figura 2 muestra el comportamiento de la humedad relativa y la temperatura del aire ambiente, así como la variación de la temperatura del aire de secamiento y del aire de salida en relación al tiempo durante las pruebas de secado realizadas. La humedad relativa del aire ambiente presentó una fluctuación entre 58 y 80%, con una tendencia a decrecer conforme transcurrió el tiempo de medición y aumentó la temperatura ambiente de 23 a 30°C. Tomando en consideración que la investigación se llevó a cabo en época lluviosa, la humedad relativa presentó valores relativamente bajos para la estación, lo cual se debe fundamentalmente a que las pruebas tuvieron lugar en horas tempranas del día y las lluvias en esta zona ocurren por lo general en horas de la tarde. Esta situación de humedades relativas bajas en el aire ambiente es favorable para el proceso de secamiento de granos, ya que reduce la demanda de energía y, por consiguiente, el consumo de combustible al disponerse de aire más seco y con mayor potencial de secado.

La temperatura del aire de secamiento tiene un efecto significativo en la calidad final del grano. Aunque teóricamente a mayor temperatura el

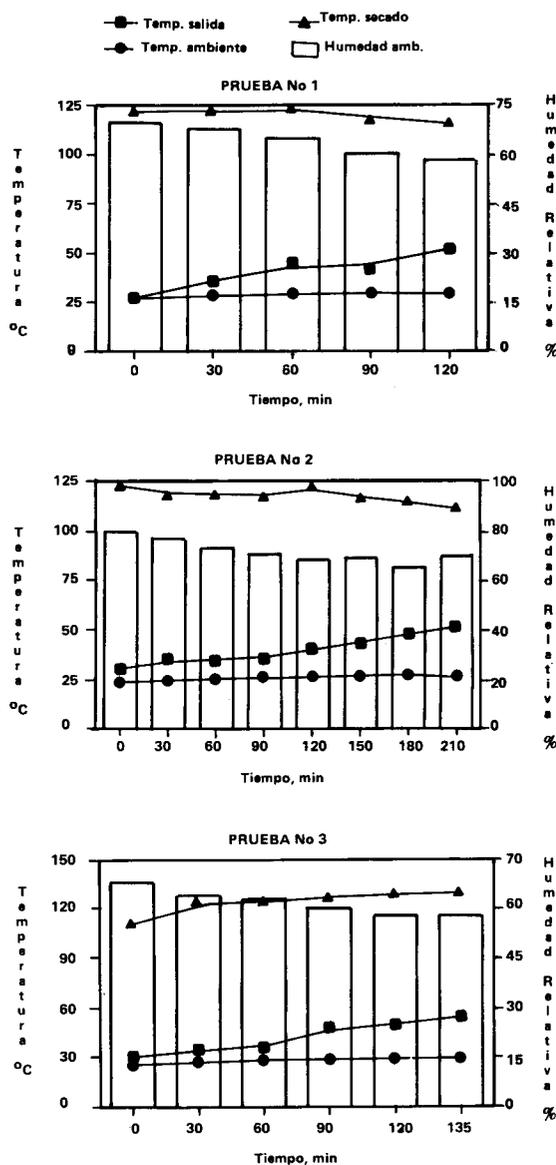


Fig. 2. Comportamiento de la humedad relativa ambiente y la temperatura del aire en las diferentes zonas del sistema durante el secado de maíz, Planta "La China" San Joaquín de Flores, Heredia.

secado es más rápido y eficiente, el factor calidad y el uso final del grano deben jugar un papel muy importante al decidir en definitiva la temperatura que se debe utilizar.

Hall (1980), recomienda que para maíz cuyo destino final sea el consumo humano, la temperatura máxima del aire de secamiento no debe sobre-

pasar los 60°C, mientras que si el maíz es para consumo animal, se pueden utilizar temperaturas de secado de hasta 149°C.

Durante las pruebas de evaluación del secador se registraron temperaturas de secado muy por encima de 60°C, variando entre 110 y 130°C (Figura 2), razón por la cual podrían esperarse daños en el producto, especialmente en cuanto a la apariencia física y al valor nutritivo. Es recomendable un mayor control en la operación del secador, especialmente con las temperaturas utilizadas.

Referente a las temperaturas de salida del aire de secamiento, se observó que son relativamente bajas, situación que demuestra que la energía calórica del aire de secamiento es aprovechada eficientemente en la remoción de humedad. Estas temperaturas aumentan conforme avanza el proceso de secado debido a que cada vez se hace más difícil remover la humedad del grano, aprovechándose entonces cada vez menos la energía disponible para el secamiento. Esta energía no aprovechada produce dos efectos, que en este caso fueron realmente leves, un calentamiento del grano, y una elevación en la temperatura del aire de salida.

La función principal del aire de secado es remover la humedad del grano, razón por la cual la humedad relativa de ese aire debe ser baja, ya que entre menos humedad posea, mayor será su capacidad de secado. Como se observa en el Cuadro 1, en las pruebas realizadas, la humedad absoluta del aire de salida es bastante superior a la del aire de secado, lo que demuestra que el aire de secamiento efectivamente absorbió mucha humedad al atravesar la capa de grano.

Eficiencia del sistema de secado

En cuanto a la eficiencia instantánea de secado (Figura 3) y a la eficiencia térmica total, los valores calculados fueron bastante altos, pues se obtuvo 94 y 74% como promedio, respectivamente. Un valor de 100% en la eficiencia de secado indica que se ha removido la máxima cantidad de humedad que es posible para las condiciones de secado dadas. Como era de esperarse, la eficiencia instantánea de secado disminuye conforme avanza el proceso, ya que como se mencionó anteriormente, cada vez es más difícil extraer el agua del grano y, por lo tanto, el aprovechamiento de la energía disponible es cada vez menor.

La eficiencia térmica total fue considerablemente alta, obteniéndose valores de 83% para la segunda prueba y 66% para la tercera prueba.

Esto demuestra que el combustible (diesel) fue bien aprovechado por el sistema de secamiento y que, como promedio, casi tres cuartas partes del combustible suministrado se utilizó en extraer humedad del grano. Estos valores de eficiencia son comparativamente más altos que los señalados por algunos autores (Hall, 1980), debido, probablemente, a que las pruebas se realizaron en condiciones climáticas diferentes.

Características del grano durante el secado

Las condiciones del grano a la salida del secador para la segunda y tercera prueba se presentan en el Cuadro 2. En referencia al contenido

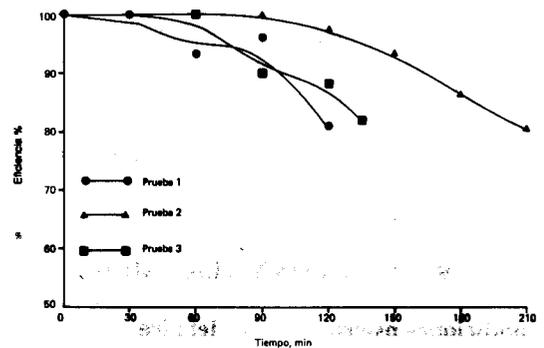


Fig. 3. Variación de la eficiencia instantánea (humedad real removida por el aire/ humedad teórica máxima removible 100) durante las pruebas de secado de maíz, Planta "La China", San Joaquín de Flores, Heredia.

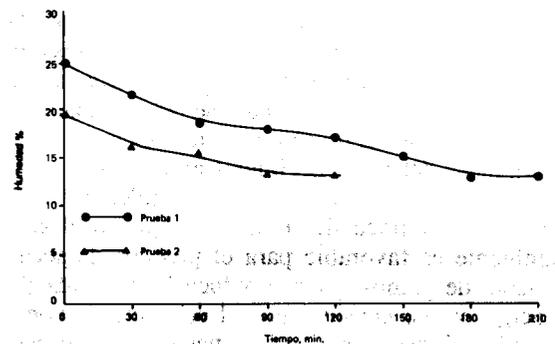


Fig. 4. Variación del contenido de humedad del maíz durante las pruebas de secado con un secador columnar de flujo continuo, Planta "La China", San Joaquín de Flores, Heredia.

Cuadro 1. Análisis psicrométrico realizado para las pruebas de secamiento de maíz, Planta "La China", San Joaquín de Flores, Heredia.

Tiempo (min)	Humedad absoluta (x 10 ⁻² kg agua/kg aire)*		Temperatura de punto de rocío (°C)
	aire de secado	aire de salida	
Primera prueba			
0	1,80	5,36	21,44
30	1,85	5,42	21,72
60	1,88	5,23	21,93
90	1,83	5,11	21,51
120	1,77	4,47	20,96
Segunda prueba			
0	1,60	5,18	19,35
30	1,62	5,01	19,55
60	1,64	5,06	19,81
90	1,65	5,01	19,85
120	1,65	5,12	19,91
150	1,70	4,80	20,34
180	1,72	4,56	20,52
210	1,71	4,28	20,43
Tercera prueba			
0	1,53	4,64	18,67
30	1,67	5,32	20,07
60	1,69	5,34	20,29
90	1,66	5,01	19,97
120	1,65	5,00	19,89
135	1,65	4,78	19,89

* kg de vapor de agua presentes por cada kg de aire seco.

de humedad del grano, en los análisis realizados con el método directo de determinación de humedad (método del horno de convección forzada) se obtuvieron valores ligeramente inferiores a los obtenidos con el Motomco, medidor indirecto de humedad de grano de amplio uso a nivel comercial. De cualquier manera, estas diferencias no fueron importantes.

En la Figura 4 se muestran las curvas de secado, basadas en las determinaciones de humedad hechas con el método del horno. En ambas curvas se observa que la mayor cantidad de agua se evaporó durante la primera hora de secamiento, disminuyendo paulatinamente la velocidad de secado y por ende la cantidad de humedad removida por hora. Esto es una consecuencia lógica del proceso, ya que la humedad que se extrae al principio

del secado es relativamente superficial y conforme avanza el proceso, cuesta más hacer salir la humedad del interior del grano.

En cuanto a los otros parámetros de calidad evaluados (Cuadro 2), se observa que el porcentaje de grano quebrado y los daños por calor aumentaron como consecuencia del secamiento experimentado por el grano, hasta obtener 4,8% de grano quebrado y 4,9% de daño por calor, como máximo, hacia el final del proceso. La densidad aparente y las impurezas no mostraron un comportamiento definido, obteniéndose 761 kg/m³ y 2% como máximo, respectivamente.

Se concluye de este estudio que bajo las condiciones de operación analizadas, el secador funciona bastante bien, tal y como lo demuestran los valores de eficiencia calculados. Sin embargo, se recomienda hacer un estudio más detallado de las características del grano al final del proceso de secamiento, y especialmente del grano que se va a utilizar para consumo humano, ya que se determinó que las temperaturas utilizadas son muy altas y podrían reducir o afectar considerablemente la calidad del grano.

RESUMEN

Este estudio se efectuó en la planta procesadora de granos "La China", propiedad del Consejo Nacional de Producción, ubicada en San Joaquín de Flores, Heredia. El objetivo fue analizar el funcionamiento del sistema de secado de flujo continuo utilizado en esta planta.

Se midieron las condiciones psicrométricas del aire de entrada, de secado y de salida para obtener la eficiencia de secado y la eficiencia térmica total, y mediante un análisis psicrométrico determinar otras características importantes. Además se evaluaron las propiedades que más influyen en la calidad del grano, como son el contenido de humedad, la densidad aparente, el contenido de impurezas, el porcentaje de grano quebrado y los daños por calor.

Los resultados obtenidos muestran que para las pruebas efectuadas, la eficiencia de secado alcanzó un valor de 94% como promedio, mientras que la eficiencia térmica promedio fue de 74%; estos resultados indican un buen funcionamiento del secador y mejor aprovechamiento del combustible. De la evaluación realizada se desprende que por efecto del proceso de secado, el porcentaje de

Cuadro 2. Variación de las condiciones del grano durante las pruebas de secamiento de maíz realizadas en la Planta "La China", San Joaquín de Flores, Heredia.

Tiempo (min)	Contenido de humedad		Impurezas (%)	Densidad aparente (kg/m ³)	Grano quebrado (%)	Daños por calor (%)
	Motomco (%)	Homo				
Segunda prueba						
0	25,54	24,69	1,72	691,5	3,51	0
30	23,03	21,41	2,04	698,0	2,00	0
60	20,02	18,52	1,20	704,0	2,22	0
90	18,51	17,83	0,58	730,5	4,30	0,30
120	17,22	17,02	1,10	726,0	3,42	0,45
150	15,93	15,13	1,26	714,5	3,32	0,30
180	13,78	12,88	0,92	734,0	4,83	0,84
210	13,78	12,98	1,48	743,0	3,20	2,53
Tercera prueba						
0	20,02	19,40	1,22	710,0	1,74	0
30	17,22	16,02	0,58	739,0	1,60	0,55
60	16,58	15,35	0,56	761,0	1,45	2,21
90	14,43	13,13	1,22	735,0	1,72	1,00
120	13,13	13,20	0,56	750,0	1,18	4,91
135	12,06	12,84	1,40	738,0	2,08	4,92

grano quebrado y los daños por calor tendieron a aumentar, mientras que el porcentaje de impurezas y la densidad aparente del grano no mostraron un comportamiento definido y aparentemente no fueron afectados por las condiciones de operación.

HALL, C.W. 1980. Drying and storage of agricultural crops. Westport, Connecticut, EE.UU., AVI. 381 p.

HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. 1976. Agricultural process engineering. 3 ed. Westport, Connecticut, EE.UU., AVI. 442 p.

LITERATURA CITADA

CHRISTENSEN, C.M. 1982. Storage of cereal grains and their products. 3 ed. St. Paul, Minnesota, EE.UU., American Association of Cereal Chemists. 544 p.