

BIBLIOTECA WILSON POPENOB  
ESCUELA AGROPECUARIA PANAMERICANA  
APARTADO 23  
TEGUIGALPA HONDURAS

# ZAMORANO

## Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria

### Eficiencia de Recibo y Secado de Maíz en la Planta de Pre-acondicionamiento de Zamorano

Tesis presentada como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero Agrónomo  
en el grado Académico de Licenciatura

Por

Mildred García Rodríguez

MICROFIS:	_____
FECHA:	_____
ENCARGADO:	_____

100105

Honduras Abril, 2000

1091

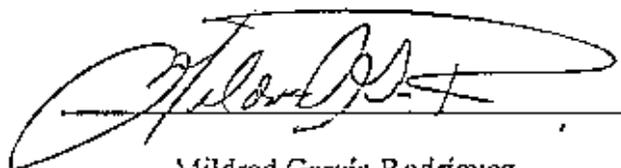
**ZAMORANO**  
**Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria**

**Eficiencia de Recibo y Secado de Maíz en la  
Planta de Pre-acondicionamiento de  
Zamorano**

**Mildred García Rodríguez**

Honduras Abril, 2000

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mildred García Rodríguez', written over a horizontal line.

Mildred García Rodríguez

Zamorano-Honduras  
Abril, 2000

## DEDICATORIA

A mi Dios, por que con tu amor y apoyo he logrado salir adelante. Gracias por mantener tu promesa sobre mí.

A mis queridos padres, Calixto García y María Luisa de García. Ustedes son el pilar de todos mis triunfos. Gracias por su eterno apoyo y paciencia.

A mis queridos hermanos, Calixto José García y Anwar Gerardo García. Mis ganas de luchar provienen de ustedes, gracias por todo el amor y oraciones.

Al Ingeniero Moncada, gracias por su apoyo y amistad.

Al Ingeniero Miguel Angel Bonilla, por haberme apoyado económicamente para la realización de mi cuarto año en Zamorano.

A Hugo, por todo tu amor y apoyo. Gracias por haber compartido mis preocupaciones y alegrías.

## AGRADECIMIENTO

A mis asesores por sus enseñanzas brindadas en todo momento.

Al Doctor Antonio Perdomo por sus orientaciones.

A Lucy Rodríguez por su amistad y apoyo constante.

A Zamorano por haberme formado en estos cuatro años.

A todas aquellas personas que creyeron en mi y que en realidad me estiman y quieren, los llevaré siempre presente en mi corazón.

## AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A mis padres por apoyarme siempre económica y emocionalmente.

A la Secretaría de Recursos Naturales, por su ayuda económica en el Programa de Agrónomo.

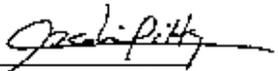
A Zamorano, por su ayuda económica en el Programa de Agrónomo.

## RESUMEN

GARCÍA R., MILDRED 2000. Eficiencia del recibo y secado de maíz en la planta de pre-acondicionamiento de semillas de Zamorano. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 50 p.

En el mundo se han desplegado muchos esfuerzos con el fin de aumentar la producción y la productividad de los cultivos agrícolas. La introducción de variedades de alto rendimiento y la mecanización progresiva de la agricultura permiten recoger, en poco tiempo, grandes cantidades de granos con alto contenido de humedad. Por lo tanto, hay que recurrir al secado artificial. Actualmente Zamorano cuenta con un sistema de secado estacionario de doble entrada que permite secar grano con alta humedad en un tiempo relativamente corto. El objetivo del estudio consistió en determinar los parámetros de recibo y secado de la nueva planta de Zamorano. Se elaboró un documento en donde se presentan los detalles técnicos del personal requerido en cada proceso y procedimientos a seguir para lograr la calidad deseada del producto final y facilitar el uso del equipo. En la evaluación realizada durante el ciclo de producción 1999-2000, se determinaron los puntos críticos de calidad en cada área del proceso con el objetivo de aumentar la eficiencia del sistema. También se determinó la eficiencia térmica de ambas secadoras. La secadora de gas fue más eficiente para remover la humedad inicial del grano (0.12% de humedad por hora), que la secadora de diesel (0.08% de humedad por hora), superando a ésta en 1% del tiempo total (5 horas). En ambas secadoras el flujo inferior fue más eficiente que el flujo superior en remover la humedad. Se estimó que para secar 600 qq se requieren un máximo de 110 horas (promedio para ambas secadoras), dando una capacidad mínima de secado de 350 toneladas/mes (mazorca). En la temporada 1999-2000 la producción fue de 227.72 ton/mes, dando 65 % de eficiencia de utilización de la planta.

**Palabras claves:** Control de calidad, capacidad de secado, eficiencia térmica.

  
Dr. Abelino Pitty

## NOTA DE PRENSA

### NUEVO SISTEMA DE SECADO ESTACIONARIO DE DOBLE ENTRADA A ALTAS TEMPERATURAS

El secado artificial a altas temperaturas es un procedimiento para eliminar el exceso de humedad de los semillas; es más seguro que el secado natural, por ser menos dependiente de las condiciones climáticas, y es más rápido y permite evitar algunos daños que ocurren durante el secado natural. El secado a altas temperaturas es una técnica muy usada en las granjas de los países más desarrollados y se emplea desde hace mucho tiempo en las industrias de transformación y en las unidades almacenadoras de semillas de todo el mundo.

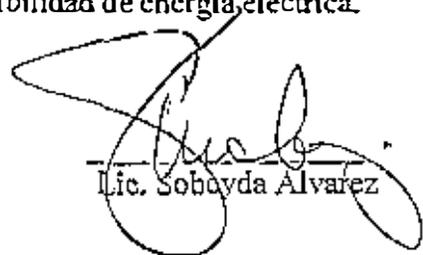
Actualmente, los secadores estacionarios que utilizan altas temperaturas son los más usados en el mercado porque no dañan la calidad de la semilla, y permite obtener el material en un tiempo relativamente corto comparado con otros sistemas de secado. Uno de los sistemas de secado más recientes en el mercado, el cual se encuentra en Zamorano, es el Secado Estacionario de Doble Entrada, que es de tipo estacionario.

Esta cuenta con dos cámaras: una de gas y otra de dióxido, que están alimentadas por ventiladores centrífugos. Cada cámara tiene capacidad para secar 600 quintales de maíz en mazorca. Se le llama de doble entrada porque esta secadora tiene la gran ventaja a diferencia de los secadores tradicionales, de que el flujo de aire estática puede ser distribuido en dos direcciones; por arriba del producto y por debajo de este.

La cámara de secado es un recipiente con fondo metálico, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El producto permanece estático en la cámara de secado, mientras que el aire calentado, impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa de producto y reduce su contenido de humedad.

Después del secado, el producto se enfría dentro del mismo secador. El periodo de secado dura de 80-100 horas para un lote de 600 quintales mazorca, y la capacidad de secado por mes puede ser de 350 toneladas mínima, 400 toneladas máximo.

El manejo del sistema es relativamente simple, ya que es controlado por computadora. Las temperaturas de secado se fijan previamente al ingreso de la semilla, y se mantienen estables por medio de un termostato. En comparación con otros sistemas, el secado estacionario es altamente eficiente. Sin embargo el mejoramiento aludido puede verse limitado por algunos factores entre los cuales los más importantes son: el nivel de instrucción del usuario, el costo de la tecnología, y la disponibilidad de energía eléctrica.



Lic. Soboyda Alvarez

## CONTENIDO

Portadilla.....	1
Autoría.....	ii
Página de firmas .....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Nota de prensa.....	viii
Contenido.....	ix
Índice de cuadros.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de gráficos.....	xiii
Índice de anexos.....	xiv
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Método de secado natural.....	1
1.2 Método de secado artificial.....	2
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Secamiento.....	3
2.2 Procesos de secado.....	3
2.3 Recepción de semilla.....	4
2.4 Secado de semilla.....	4
2.5 Principales variables que influyen en el tiempo de secado.....	5
2.6 Variables que influyen en la capacidad de secado.....	6
2.7 Flujo del proceso de secado estacionario en la Zamoempresa de Cultivos Extensivos.....	7
2.7.1 Destusadora.....	7
2.7.2 Banda transportadora.....	7
2.7.3 Secadora estacionaria de doble entrada.....	7
2.7.4 Desgranadora.....	8
2.8 Variables que influyen en la eficiencia de la secadora de doble entrada....	10
2.8.1 Determinando el frente de secado.....	10
2.8.2 Manejo de las secadoras de doble entrada.....	11
2.8.3 Efecto del flujo de aire.....	12
2.8.4 Manejo del cambio de flujo en la secadora.....	13
2.8.5 Manejo de las temperaturas de secado.....	14

2.8.6	Manejo de la profundidad de secado.....	14
2.9	Control de calidad interno.....	15
3.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	17
3.1	Objetivo general.....	17
3.2	Objetivos específicos.....	17
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
4.1	Materiales.....	18
4.2	Métodos.....	18
4.2.1	Área de recibo.....	18
4.2.2	Clasificación.....	19
4.2.3	Secado.....	19
4.2.4	Desgranado.....	19
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
5.1	Puntos críticos de calidad y tiempos de laboreo.....	20
5.1.2	Puntos críticos de calidad.....	20
5.1.3	Tiempo de laboreo (para un lote de 600 qq mazorca).....	22
5.2	Calidad de la semilla.....	23
5.2.1	Daños de secado.....	23
5.3	Limpieza de la planta.....	26
5.4	Evaluación del sistema de pre-acondicionamiento.....	27
5.5	Análisis Estadístico.....	29
5.6	Análisis de costos.....	30
5.7	Eficiencia de los equipos.....	31
5.7.1	Eficiencia térmica.....	31
5.8	Estimación de peso final de desgrane, olote, y pérdida de humedad total por lote.....	35
5.9	Capacidad de secado.....	36
6.	CONCLUSIONES.....	37
7.	RECOMENDACIONES.....	38
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	39
9.	ANEXOS.....	40

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1.	Temperatura mínima y máxima de secado para semilla.....	14
2.	Tiempo de laboreo total y personal utilizado en el área de pre-acondicionamiento.....	22
3.	Hoja de control de calidad para el sistema de secado estacionario..	24
4.	Procedencia del lote, cantidad inicial de la variedad Guayape en el Sistema de pre-acondicionamiento de Zamorano.....	27
5.	Eficiencia térmica de las secadoras de diesel y de gas (quintales/hora).	28
6.	Prueba de medias independientes de la variable peso .....	29
7.	Prueba de medias independientes de la variable horas de secado...	29
8.	Estimación de costos durante el periodo 99-2000 en el sistema de pre-acondicionamiento de Zamorano para 10,600 quintales mazorca..	30
9.	Eficiencia térmica de la secadora de gas en porcentaje de humedad extraída por hora y total del maíz proveniente de Cantarranas, lote 2 (productor independiente).....	31
10.	Eficiencia térmica de la secadora de diesel en porcentaje de humedad extraída por hora y total proveniente del área de San Nicolás .....	33
11.	Porcentaje de peso final desgrane, olote, y pérdida total en lotes de Zamorano y productor independiente.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		
1.	Esquematización del sistema de secado estacionario de doble entrada.....	9
2.	Secador estacionario de doble entrada.....	11
3.	Puntos críticos de calidad y personal requerido en el sistema estacionario de doble entrada.....	21

**ÍNDICE DE GRAFICAS****Gráficos**

1	Eficiencia térmica de la secadora de gas.....	32
2	Eficiencia térmica de la secadora de diesel.....	34

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Anexos

1.	Formato para control de secado.....	40
2.	Análisis de la eficiencia térmica de 7 lotes (referencia para determinar horas de secado total en ambas secadoras).....	41
3.	Estimación de peso final desgrane, olote, agua y pérdida total por lote.....	48
4	Formato para el control de datos de campo.....	50
.		

## 1. INTRODUCCIÓN

En el mundo se han desplegado muchos esfuerzos con el fin de aumentar la producción y la productividad de los productos agrícolas. Estos esfuerzos, que exigen inversiones importantes, se han visto parcialmente neutralizados por las pérdidas que se producen después de la maduración del grano (FAO, 1991). Estas pérdidas pueden superar el 20% del producto final debido a varios factores como ser la falta de tecnología post cosecha, y la escasa información acerca de los métodos de secado en la zona rural, que es donde se produce la mayoría del grano básico para consumo y la semilla para la futura plantación. Lo dicho refleja indirectamente las precarias condiciones en que se realiza el tratamiento de la mayoría de los granos producidos.

Para el secado de los granos, los métodos utilizados son sustancialmente dos: el secado natural y el secado artificial. El método más utilizado para la producción de semillas es el secado artificial, ya que este permite obtener la semilla en un tiempo corto; preservando la calidad inicial de la misma. Ambos métodos presentan ventajas e inconvenientes, y no existe un método ideal que permita satisfacer todas las necesidades.

### 1.1 MÉTODO DE SECADO NATURAL

Consiste en exponer al aire (al sol ó a la sombra) los productos trillados. Para obtener el contenido de humedad deseado, se extienden los granos en capas finas sobre una superficie de secado, donde se exponen al aire durante un máximo de 10 a 15 días. Para favorecer un secado uniforme, hay que remover frecuentemente los granos, sobre todo si están expuestos directamente a los rayos solares. Además, para que el secado sea eficaz, la humedad relativa del aire ambiente no debe superar el 70%. Éste método excesivamente lento puede acarrear, durante el almacenamiento, pérdidas importantes en el producto por calentamiento del grano. Asimismo, la exposición prolongada a los agentes atmosféricos, a la acción de animales dañinos (insectos, roedores, aves) y de microorganismos (moho) causan pérdidas del producto (FAO, 1999).

Sin embargo, pese a estos inconvenientes; el secado natural se recomienda en los contextos siguientes (FAO, 1999):

- Cuando las condiciones atmosféricas son propicias para la reducción del contenido de humedad en un lapso de tiempo relativamente corto;
- Cuando las cantidades de grano con que se opera son modestas;
- Cuando la organización de la producción y las condiciones socioeconómicas no justifican los gastos correspondientes a la compra de una instalación de secado artificial.

## 1.2 MÉTODO DE SECADO ARTIFICIAL

La introducción de variedades de cultivos de alto rendimiento y la mecanización progresiva de la agricultura permiten hoy recoger en poco tiempo grandes cantidades de granos con fuerte contenido de humedad. En las zonas tropicales y sub-tropicales húmedas, habida cuenta de las condiciones climáticas desfavorables en el momento de la recolección, es muchas veces difícil proteger la calidad de los productos (FAO, 1999).

De esta manera, para que se pueda aumentar la producción agrícola es necesario secar los productos en plazos relativamente breves, independientemente de las condiciones ambientales. Por consiguiente hay que recurrir al secado artificial de los productos. Este método consiste en someter los granos a una ventilación dirigida de aire caliente, empleando secadores. La característica principal de este sistema es que trabaja con temperaturas constantes en un periodo de tiempo estipulado de acuerdo a la humedad inicial de producto. En comparación con el sistema natural, este es mucho más eficiente, pero requiere una inversión inicial alta y de un personal especializado para el manejo del mismo. Los periodos de secado pueden variar desde 5 a 6 días dependiendo de la cantidad y la humedad inicial de la semilla.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 SECAMIENTO

El tratamiento de las semillas se compone de una serie de operaciones unitarias, entre las que se destaca el secado. La falta de secado adecuado es una de las principales fuentes de pérdidas de productos agrícolas (FAO, 1991).

El secado de granos se puede definir como el método universal de adecuar los granos mediante la eliminación del agua hasta un nivel que prevenga el crecimiento de hongos y bacteria, de manera que se conserve el aspecto y la calidad nutritiva del grano como alimento, • su viabilidad como semilla. El nivel seguro de humedad del grano se encuentra entre el 10 y el 13%, base húmeda, para las principales especies, dadas las condiciones medias de temperatura y humedad relativa en América Latina (Aguirre y Peske, 1988).

Las técnicas de secado y almacenamiento de granos son ampliamente conocidas y utilizadas en países desarrollados. Esto quiere decir que, luego de adaptarlas a las condiciones de clima y realidad económica, es posible mejorar las técnicas y equipos que se utilizan en América Latina. Por lo menos en principio, esta afirmación es valedera; no obstante, el mejoramiento aludido puede verse limitado por algunos factores entre los cuales los más importantes son según la FAO, 1991:

- a) El nivel de instrucción del usuario;
- b) El costo de la tecnología;
- c) El volumen de producción por producto rural;
- d) la disponibilidad de energía eléctrica.

### 2.2 PROCESOS DE SECADO

A pesar de las limitaciones en este proceso, se ha logrado obtener un avance significativo en la implementación de equipos de secado alrededor de América Latina. Dentro de los sistemas más comunes se encuentran los métodos de secado artificial a altas temperaturas. La adquisición de este sistema requiere del conocimiento previo del productor acerca del funcionamiento correcto de la maquinaria ya que los beneficios esperados están directamente relacionados con el buen manejo del sistema.

Debido a que los costos de producción son altos comparados con los costos de un sistema de secado natural, ciertos factores deben tomarse en cuenta para que el sistema sea económicamente viable y eficiente (FAO, 1999):

- a) Debe haber un nivel de producción mínimo;
- b) Y un riguroso sistema de control de calidad.

El control de calidad dicta los parámetros a seguir de la empresa, ya que por medio de éste se verifica la eficiencia y eficacia de la operación de los equipos, para evitar pérdidas innecesarias y mal funcionamiento o para detectar si la semilla presenta algún problema. La realización armoniosa y eficiente de las operaciones de secado, acondicionamiento y almacenamiento son necesarias para la obtención de lotes de alta calidad, con un mínimo de pérdidas, y en cantidades adecuadas para suplir las necesidades del mercado.

### 2.3 RECEPCIÓN DE SEMILLA

Según Aguirre y Peske (1988), la recepción de lotes de semilla cumple tres objetivos principales:

- Caracterizar los lotes que se va a recibir para tomar las decisiones necesarias sobre las operaciones de beneficio requeridas y llevar los registros adecuados
- Evitar el ingreso de material de mala calidad a la Unidad de Beneficio de Semilla (UBS).
- Tomar una muestra testigo del lote tal como llegó a la UBS para determinar la calidad inicial del lote.

Este procedimiento permite obtener una muestra representativa del lote de semillas, con la que se determinan características tales como el contenido de humedad, la pureza, porcentaje de daño mecánico y la viabilidad. Estos parámetros son necesarios para determinar la calidad posterior del lote una vez aplicado el secado.

Luego se procede al destusado y seleccionado. Dentro de esta etapa se realiza un riguroso control de calidad con el objetivo principal de eliminar cualquier material que vaya a reducir la calidad del producto. Esta operación se realiza antes del secamiento pero no es necesaria en todos los lotes de semilla.

### 2.4 SECADO DE SEMILLA

El secado artificial a altas temperaturas es un procedimiento para eliminar el exceso de humedad de las semillas; es más seguro que el secado natural, por ser menos dependiente de las condiciones climáticas, y es más rápido y permite evitar algunos daños que ocurren durante el secado natural. El secado a altas temperaturas es una técnica muy usada en las granjas de los países más desarrollados y se emplea desde hace mucho tiempo en las industrias de transformación y en las unidades almacenadoras de semillas de todo el mundo (FAO, 1991).

Desde el punto de vista de la construcción, los elementos esenciales de un secador son (Bernal, 1982): El cuerpo del secador, que contiene las semillas; el generador de aire caliente, que permite calentar el aire y el ventilador, que hace circular el aire a través de la masa de semillas.

Los secadores artificiales se pueden clasificar de acuerdo diversos criterios, tales como el flujo del producto en el secador y la temperatura de secado. La elección de uno de estos criterios depende del enfoque que se requiera dar al asunto.

En este estudio, los secadores se clasificarán según el flujo del producto, como sigue (Aguirre y Peske, 1988):

**a. Estacionarios:** en este tipo de secador, una capa de semillas es atravesada por una corriente de aire caliente que se desplaza de abajo hacia arriba. El secado de la masa de semillas no se realiza de manera uniforme: a medida que se desplaza de abajo arriba, el aire cede calor a los granos y absorbe humedad de estos, perdiendo así su poder secante. Las capas inferiores se secan más rápido que las superiores. Dentro de los secadores estacionarios tenemos:

- Secador de lecho fijo o de capa estacionaria
- Secador con aire movido por convección natural.

**b. Continuos:** en este tipo de secador se hace pasar en una capa fina un flujo continuo de semillas por un conducto atravesado por una corriente de aire muy caliente. Al avanzar, la masa de semillas es removida constantemente. La masa de semilla seca presenta en este caso un contenido de humedad bastante uniforme. Dentro de los secadores continuos tenemos:

- en cascada o de canaletas
- de flujos cruzados
- de flujos concurrentes
- de flujos contrarios

## 2.5 PRINCIPALES VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL TIEMPO DE SECADO

Las variables que influyen en el tiempo de secado son la humedad relativa del aire, temperatura de secado, flujo de aire, y capacidad de la secadora. El tipo de grano y las condiciones en la fase de campo también pueden influir en el tiempo de secado. Estas variables son dependientes unas de otras. Esto quiere decir que influyen en el tiempo de secado como un conjunto de factores y no aisladamente (FAO, 1991):

**1. Humedad relativa del aire:** Durante el secamiento la humedad relativa del aire debe de estar entre 40 y 70%. Un método para medir la humedad relativa es utilizar el psicrómetro. También con este método de secamiento se necesita un humidímetro para controlar el quemador, el cual se debe encender cuando la humedad relativa sea mayor al 70%, para calentar el aire alrededor de 10° C por encima de la temperatura ambiente.

2. **Temperatura:** La temperatura máxima en sistemas de secamiento estacionario es de 40°C. Cuando las semillas tienen un alto contenido de aceite, se recomienda secarlas con aire a temperaturas inferiores a los 37°C. Normalmente se consigue que la humedad relativa este por debajo del 70% sin necesidad de calentar el aire hasta los 40°C. El termostato se debe ajustar para que apague el quemador cuando la temperatura sea superior a los 40°C. Si el sistema no tiene termostato, el equipo se puede operar manualmente durante periodos cortos de tiempo (15 min.) para no calentar las semillas por encima de la temperatura recomendada.

3. **El Flujo de aire:** durante el secamiento el aire tiene dos funciones:

- absorber humedad de la superficie de la semilla y
- llevarla hacia el exterior del secador.

En condiciones tropicales (alta temperatura y alta humedad relativa del aire) se debe utilizar entre 4 y 17 m<sup>3</sup> de aire/min./ton. de semilla. Entre mayor sea la humedad de la semilla mayor debe ser el flujo del aire.

Entre mas alta la capa de semilla, mayor será la pérdida de presión y menor el caudal de aire que pasa a través de la capa, por lo cual es necesario que esta tenga un espesor apropiado para el sistema utilizado. En general, la altura máxima para semillas de tamaño similar a la de soya es de 1.5 m, a la de trébol de 0.6 m, y a la del maíz en mazorca de 3 m. Para tener un flujo adecuado de aire es importante seleccionar bien el ventilador.

4. **Capacidad de secador:** en general se puede asumir que la velocidad de secamiento es constante en el rango de humedad de la semilla entre el 13 y el 26%. Con base a esto se puede calcular el tiempo aproximado que se demorara en secar la capa en contacto con el piso falso. La capacidad de secado se calcula por hora, y esta determina la eficiencia del sistema.

## 2.6 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CAPACIDAD DE SECADO ESTACIONARIO

Las principales variables del sistema de secado de partidas en lecho estacionario son (Brooker *et al*, 1974):

- Espesor del lecho,
- Contenido de humedad inicial,
- Flujo del aire,
- Temperatura del aire y
- Tiempo de secado

Todos estos elementos están directamente relacionados con la eficiencia del sistema. Si uno de estos factores se encuentra fuera de los parámetros establecidos, el tiempo de secado puede extenderse considerablemente, y, por consiguiente, puede afectar la calidad de la semilla, como también aumentar el costo del proceso.

El sistema de secado que actualmente se utiliza en Zamorano es estacionario, controlado por un sistema eléctrico y está compuesto por:

- Destuzadora
- Bandas de transporte
- Secadora estacionaria de doble entrada, que cuenta con una Cámara de gas y una de diesel.
- Motores axiales
- Quemadores
- Desgranadora

## 2.7 FLUJO DEL PROCESO DE SECADO ESTACIONARIO EN LA ZAMOEMPRESA DE CULTIVOS EXTENSIVOS

### 2.7.1 Destuzadora

El mecanismo de destuzado se basa en fricción. Las mazorcas que vienen del campo a una humedad de 25-30% se someten a un proceso de fricción unas con otras, despojándolas así de la tusa o piel. Este sistema puede o no ser usado en el proceso de secado, todo va a depender de la disponibilidad de mano de obra, y el costo que este incurre.

### 2.7.2 Banda transportadora

La función principal de la banda transportadora es la clasificación del material que proviene del campo. Esta clasificación debe de hacerse rigurosamente ya que de esta va a depender mucho la eficiencia del secado. Esta operación se realiza antes del secamiento, pero no es necesaria en todos los lotes de semilla. La banda es lo suficientemente larga como para que los seleccionadores tengan el tiempo de extraer el material indeseable.

### 2.7.3 Secadora de doble entrada

La secadora de doble entrada es de tipo estacionaria. Esta cuenta con dos cámaras: una de gas y otra de diesel, que están alimentadas por ventiladores axiales. Cada cámara tiene capacidad para secar 600 quintales de maíz en mazorca.

Se le llama de doble entrada porque esta secadora tiene la gran ventaja a diferencia de los secadores tradicionales, de que el flujo de aire estática puede ser distribuido en dos direcciones; por arriba del producto y por debajo de este. La cámara de secado es un recipiente con fondo metálico, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El producto permanece estático en la cámara de secado, mientras que el aire calentado, impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa de producto y reduce su contenido de humedad. Después del secado, el producto se enfría dentro del mismo secador.

#### 2.7.4 Desgranadora

El sistema de la desgranadora es por fricción. Cuando las mazorcas llegan a la humedad deseada (13-14%), pasan por una banda transportadora que se dirige a la desgranadora. Este proceso ocasiona cierto daño mecánico. Una vez que el lote ha sido desgranado éste se almacena en tolvas para su futuro acondicionamiento.

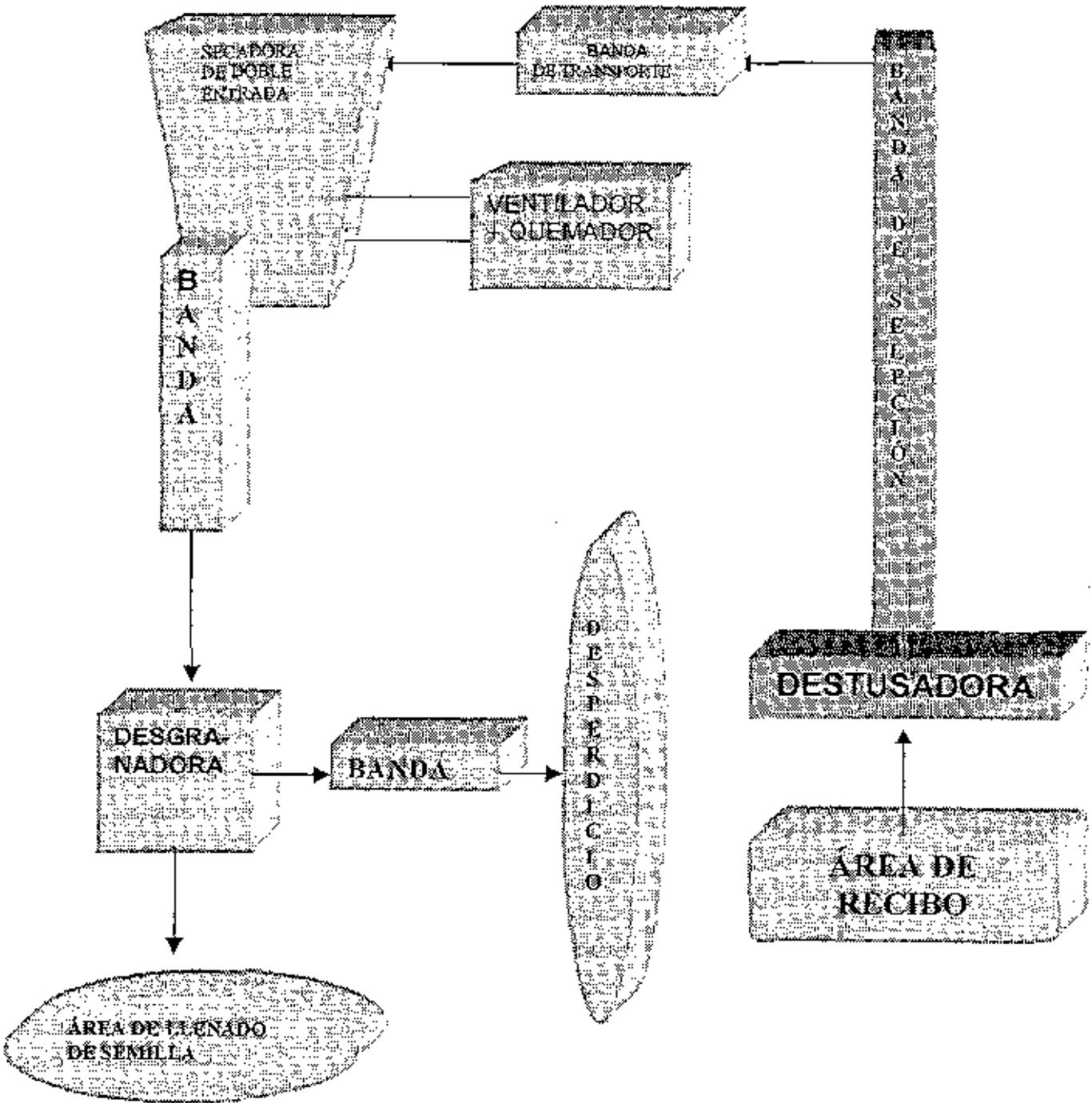


Figura 1. Esquematización del sistema de secado estacionario de doble entrada

## 2.3 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DE LA SECADORA DE DOBLE ENTRADA

La eficiencia del secado estacionario de doble entrada va a depender de cuatro factores:

1. Existencia de un frente de secado
2. Flujo de aire y presión estática
3. Temperatura de secado
4. Profundidad de la capa (cama)

### 2.3.1 Determinando el frente de secado

En el secado de semilla, el aire tiene dos funciones básicas:

1. Proporcionar el calor necesario para evaporar la humedad
2. Ser el vehículo de transporte de esta humedad hacia el exterior de la secadora.

Cuando el aire que se encuentra alrededor de la semilla ha absorbido tanta agua como se lo permita la humedad relativa, se dice que el aire está saturado o que ha alcanzado su punto de rocío. Cuando el aire está saturado, no es capaz de absorber más humedad. Si este aire se satura antes de poder atravesar toda la capa (cama) de semilla se crea un frente de secado. En el secador de fondo falso, el frente de secamiento se mueve del centro hacia la periferia. Es importante conocer la dirección y el sentido en que se mueve el frente de secamiento para tomar correctamente las muestras y determinar el contenido de humedad. Las muestras deben de contener semilla de toda la capa evaluada sin mezclarlas con semillas de otra capa. El secamiento del lote de semillas termina cuando la capa de semillas que está más distante de la entrada de aire ha alcanzado la humedad deseada. Es aconsejable que todas las capas estén secas, pues si una sola queda húmeda, ocasionara problemas durante el almacenamiento (Perdomo, 2000)<sup>1</sup>.

La semilla que se encuentra por encima del frente de secado va a estar rodeada de aire saturado y no va a transferir humedad. La semilla por debajo del frente se estará secando hasta que exista aire insaturado. Si un frente de secado permanece por más de 12 horas puede ocurrir pérdida de germinación (Perdomo, 2000)<sup>2</sup>.

Secadoras modernas usan flujos de aire con alta velocidad y altas presiones estáticas para mover el aire a través de la masa de semillas lo más rápido posible. Esto reduce la posibilidad de que el aire se sature y que se forme un frente de secado. Es muy común que exista un frente de secado al inicio de la operación. Este periodo se extenderá dependiendo de tres factores:

- La humedad de la semilla
- La profundidad de la cama
- La presión estática que existe en el flujo del aire

<sup>1</sup> Perdomo, Antonio. 2000. Secadora estacionaria de doble entrada. (comunicación personal)

<sup>2</sup> Perdomo, Antonio. 2000. Frente de secado. (comunicación personal)

Existen varios indicadores que son una señal de que se ha formado un frente de secado:

- La humedad se condensa en las paredes del depósito de la secadora
- El aire que sale de la secadora puede estar extremadamente frío y húmedo comparado con el aire de entrada. Esto se debe a que todo el calor ha sido utilizado en el proceso de evaporación. Cuando el frente de secado pasa completamente a través de la masa de semillas, se observa un incremento en la temperatura debido a que aire insaturado está siendo expulsado (Perdomo, 2000)<sup>3</sup>.

### 2.3.2 Manejo de las secadoras de doble entrada

Este tipo de secadoras mueve el aire a través de los quemadores y es distribuido por canales individuales (uno superior y otro inferior), los cuales dirigen el aire caliente hacia la masa de semilla a una presión y temperatura determinada (Figura 1).

Este sistema en particular permite dos cosas (Moreira, 1999)<sup>4</sup>:

1. Hacer un uso más eficiente del calor que proviene de los quemadores a través del reciclamiento del aire que ya ha sido utilizado en la primera etapa de secado.
2. Permite utilizar altas temperaturas combinado con flujos de aire a alta velocidad que no dañan la semilla

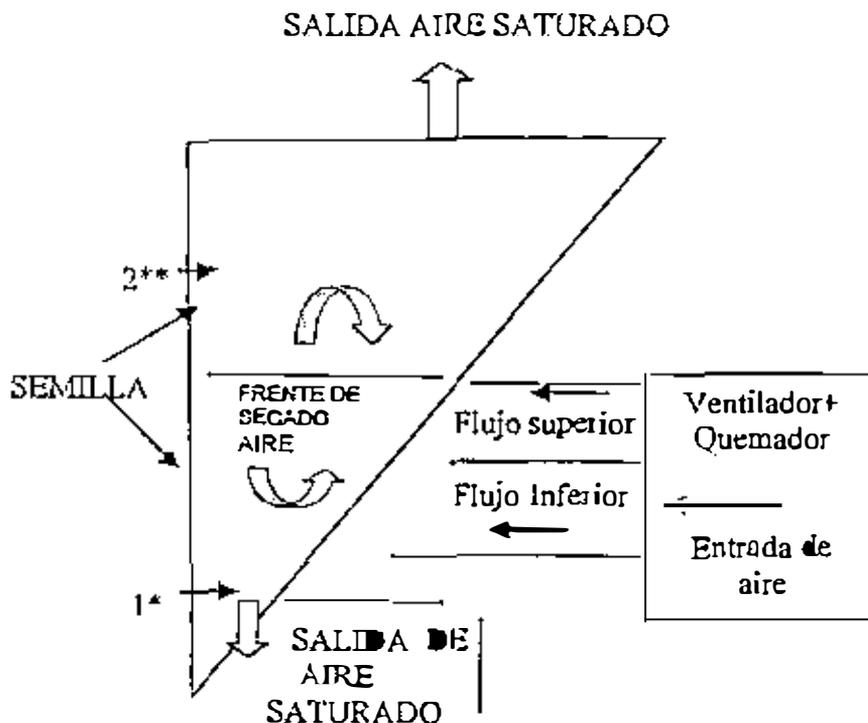


Figura 2. Secador estacionario de doble entrada.

1\*. Proceso de secado durante el primer periodo con aire directo.

2\*\*. Proceso de secado durante el segundo periodo con aire indirecto

<sup>3</sup> Perdomo, Antonio. 2000 Indicadores de la formación de un frente de secado. (comunicación personal)

<sup>4</sup> Moreira, David. 1999 Manejo de las secadoras de doble entrada. (comunicación personal)

El aire que ha sido primeramente calentado por los quemadores es comúnmente llamado aire directo (ó flujo inferior), y es utilizado en masas de semillas que han sido parcialmente aireadas.

El aire que ya ha sido utilizado en el proceso de secado es comúnmente llamado aire indirecto (flujo superior). Este aire contiene mucha más humedad que el aire directo y es menos eficiente en remover humedad ya que ha perdido calor; por esta razón solo se utiliza un 45% del tiempo total de secado (Perdomo, 2000)<sup>5</sup>.

El proceso normal para operar un sistema de secado de doble es el siguiente (Moncada, 2000)<sup>6</sup>:

- Una vez llenada la secadora, se expone la semilla con aire por un período no mayor de 10 horas. Esto se realiza con el propósito de obtener una temperatura estable dentro de la secadora y prevenir posteriormente la existencia de un frente de secado; al mismo tiempo se reduce la humedad superficial de la semilla
- Seguidamente se aplica aire directo. La temperatura de este aire va a depender de la humedad inicial de la semilla. A medida que se remueve la humedad, la temperatura del aire expulsado tiene que ir aumentando gradualmente ya que se utiliza menos calor para la evaporación.
- Cuando la semilla ha completado la mitad de su ciclo de secado, el aire es invertido para permitir que el aire saturado sea expulsado e ingresar aire insaturado para continuar con el proceso de secado.
- Una vez que se alcanza la humedad deseada la semilla se exponen a aire (de 3 a 5 horas) para bajar la temperatura superficial del grano y poder seguir con el proceso de acondicionamiento.

### 2.8.3 Efectos del flujo de aire

La máxima cantidad de humedad que puede ser llevada por el aire puede ser fijado bajo condiciones normales de secado, de esta manera altos flujos de aire requieren secado de alta velocidad. La efectividad del flujo del aire a través de la cama de semilla depende primeramente de la diferencia de presión a través de la profundidad de la cama. Altas presiones dan como resultado mas flujo por bushel de semilla. Simplemente colocando un ventilador que este operando a la misma presión no va aumentar la efectividad del flujo del aire debido a que la semilla todavía controla la cantidad de aire que va a pasar a una presión particular. Reduciendo la profundidad de la cama de semilla, la velocidad del flujo del aire aumenta ya que existe menor resistencia. Esto da como resultado tres cosas (Aguirre y Peske, 1988):

1. Reduce el tiempo de secado
2. Reduce problemas de deterioro de la semilla post secado.
3. Reduce la diferencia de humedad, en la cama de semillas; entre la capa de arriba y la de abajo.

<sup>5</sup> Perdomo, Antonio. 2000 Nomenclatura de los diferentes flujos utilizados en la secadora de doble entrada. (Comunicación personal)

<sup>6</sup> Moncada, Edward. 2000 Operación de un sistema de secado de doble entrada (comunicación personal)

La variación de humedad ocurre en la secadora cuando existe un frente de secado. El proceso de secado ocurre normalmente de esta manera (Perdomo, 2000)<sup>7</sup>:

1. La semilla que se encuentra por debajo del frente estará caliente y seca, pero la semilla por encima del frente de secado estará húmeda.
2. En algunos casos la semilla que se encuentra por encima del frente tendrá más humedad que a la que fue cosechada, debido a la condensación de humedad provocada por las capas inferiores.
3. Aumentar la velocidad del flujo del aire reducirá la dispersión de humedad, ya que altos flujos de aire no permiten que este se sature con tanta rapidez. Bajo estas condiciones, ya se formaría un frente de secado permitiendo que la cama de semillas se seque uniformemente.

Cuando la presión del flujo de aire es baja sólo la capa de abajo está siendo propiamente secada a un tiempo determinado. El maltrato a la calidad de la semilla se da cuando ésta pasa durante mucho tiempo expuesta a un frente, aumentando el tiempo de secado. La secadora debe ser operada de tal manera que pueda llegar a la máxima presión a la que fue diseñada para aumentar la eficiencia de secado y reducir las pérdidas por calidad. Exceder la presión para la cual fue diseñado el sistema va a dar como resultado bajos flujos de aire.

#### 2.8.4 Manejo del cambio de flujo en la secadora

El tiempo de cambio del flujo es crucial para mantener la buena calidad y eficiencia del proceso. El concepto de flujo de doble entrada se basa en la susceptibilidad de la semilla a ser dañada por altas temperaturas. Para prevenir daño de la semilla, no se debe cambiar el flujo hasta que se baje la humedad de la capa superior a un rango entre 22-26%. Bajo una operación normal, la semilla más húmeda se localiza cerca de 12-18 pulgadas (1 pulgada: 2.5 cm) por debajo de la parte superior de la cama. El flujo del aire debe cambiarse tan pronto como se alcance el nivel antes especificado. Prolongar el flujo por arriba reduciría la eficiencia del secado.

Cuando se recibe semilla con bajo porcentaje de humedad (menor de 28%), el nivel seguro de secado de la capa superior se alcanza rápidamente. Si el flujo se cambia rápidamente, la cama de maíz se seca prácticamente con el flujo de aire directo (down air). Puesto que el flujo de doble entrada reduce la humedad total del ambiente dentro del depósito de la secadora, un mínimo de aire superior (up air) debe ser utilizado (entre 20-24 horas) (Perdomo, 2000).<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Perdomo, Antonio. 2000. Proceso de secado. (comunicación personal)

<sup>8</sup> Perdomo, Antonio. 2000. Manejo del cambio de flujo en la secadora de doble entrada. (Comunicación Personal).

### 2.8.5 Manejo de las temperaturas de secado

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y una mayor tasa de secado. En cambio, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en los granos. Las temperaturas de secado, junto con los flujos de aire, determinan la cantidad de agua evaporada en un secador de la manera siguiente:

1. Altas temperaturas pueden dañar la calidad de la semilla. Las siguientes temperaturas son las establecidas para ser usadas durante la aplicación de flujo directo (Cuadro 1) (Moncada, 2000)<sup>9</sup>:

Cuadro 1. Temperatura mínima y máxima de secado para semilla

Porcentaje de humedad de la semilla	Temperatura en °F	
	Promedio de secado	Máxima de secado
> 35	96	100
> 28	101	104
< 28	105	108

2. Durante el secado de doble paso, el aire directo que ingresa de los quemadores debe ser expuesto a semillas con una humedad por debajo de 28%. De esta manera, el quemador debe ser operado a una temperatura promedio de 105°F al ingresar al depósito de la secadora. Se debe monitorear constantemente que la temperatura no exceda los 108°F.
3. Las temperaturas en el túnel de transferencia no deben de variar más de 5°F

### 2.8.6 Manejo de la profundidad de secado

En general cuando los compartimentos son llenados a su mayor capacidad, la capacidad de secado por día va a ser mayor. Sin embargo, llenar los compartimentos a la mayor capacidad con semilla que contiene alta humedad puede resultar en un periodo muy largo de secado con posibles daños a la calidad de la semilla.

En algunas secadoras, con semilla mojada (>30% de humedad), los compartimentos no deben ser llenados a su máxima capacidad.

<sup>9</sup> Moncada, Edward. 2000. Temperaturas de secado. (comunicación personal)

Los siguientes son parámetros que deben ser seguidos al momento de llenar el depósito de la secadora (Perdomo, 2000)<sup>10</sup>:

1. Semilla sobre 28% de humedad > llenar compartimientos a una profundidad que normalmente permita secar a una humedad de 12% en un período de 80-100 horas. Si el tiempo de secado excede este tiempo es recomendable reducir la profundidad de la cama de la semilla de tal manera que opere a 100 horas máximo. Se debe evitar que el período de secado llegue a 120 horas.
2. Semillas bajo 28% de humedad > llenar compartimiento a su capacidad máxima. Se espera que el período de secado se encuentre entre 80-100 horas, pero en algunas ocasiones se puede esperar que el período de secado sea de 50-70 horas o menos.
3. Llenar los compartimientos a su máxima capacidad y mantener el período de secado cerca de las 100 horas debe ser uno de los objetivos de producción.

## 2.9 CONTROL DE CALIDAD INTERNO

El control de calidad es un requisito esencial en una empresa de semillas. Esto verifica la eficiencia y eficacia de la operación de los equipos, para evitar pérdidas innecesarias y mal funcionamiento o para detectar si la semilla presenta algún problema.

Un programa de control de calidad debe tener en cuenta los siguientes aspectos (Aguirre y Peske, 1988):

1. Concientización del personal de la unidad de beneficio de semilla a todos los niveles de la importancia del control de calidad.
2. Intercambio de información y análisis de los éxitos y de los fracasos entre los diversos niveles de jerarquía.
3. Preocupación del personal por la calidad
4. Agilidad para tomar decisiones rápidas por parte del personal encargado de la unidad.
5. Capacitación del personal con el fin de mejorar su desempeño.

El control de calidad inicia desde el momento en que se selecciona la semilla que se va a multiplicar y termina con la distribución de la semilla. El beneficio principal de un programa de control de calidad es el conocimiento que se adquiere de los atributos de la semilla que se están produciendo y comercializando. La ficha de registro del lote de semilla permitirá identificar el origen de cualquier problema que se presente, pues son muchos los factores que afectan la calidad de la semilla y pueden presentarse en la misma empresa, durante el transporte, en el almacenamiento, o aún en el campo del agricultor.

El buen manejo de la planta de granos va a estar definida por la administración. Hoy en día se considera que la existencia de un equipo organizado que actúe sobre todas las cuestiones técnicas, económicas, organizativas y de mantenimiento son la calva para el éxito de un programa de control de calidad. Un conjunto de esta naturaleza debe de estar constituido por varios niveles (de Dios, 1987):

<sup>10</sup> Perdomo, Antonio. 2000. Parámetros para el llenado del depósito de la secadora. (comunicación personal)

- Una gerencia comercial, que realiza las transacciones comerciales, que analiza costos e inversiones, que estudia los clientes y los mercados de granos.
- Una gerencia técnica, que se ocupa de las instalaciones y los transportes, que selecciona y monta los equipos de secado, almacenamiento y otros, y que analiza y archiva toda la información técnica. De ella depende:
  - Un jefe de planta, que esta a cargo de todos los procesos, desde la recepción de los granos hasta su despacho, y que hace funcionar los equipos.
  - Un encargado de las secadoras
  - Un jefe de mantenimiento de toda la planta.

Todo este equipo debería reunirse periódicamente, bajo la responsabilidad del gerente técnico. En el caso específico del manejo del proceso de secado, a estos niveles, se necesita una persona de amplios conocimientos técnicos, ampliamente capacitada, en particular en el campo de los procesos térmicos. Cada vez se justifica menos que el encargado de las secadoras sea un operario práctico con poca base técnica o científica, teniendo en cuenta los grandes volúmenes procesados y los valiosos capitales que están en juego.

### III. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros de recibo y secado en la nueva planta de Zamorano, en donde se presentarán los detalles técnicos y procedimientos a seguir para lograr la calidad deseada del producto final y facilitar el uso eficiente del equipo.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar las horas de trabajo (laborco) en las etapas de
  - Recibo
  - clasificado
  - secado
  - desgranado
2. Determinar las eficiencias de los equipos al momento del:
  - Secado: eficiencia térmica (porcentaje de humedad que se reduce por hora y tiempo total de secado).
  - Desgranado: número de quintales por hora, porcentaje de material desgranado obtenido.
3. Capacidad de secado (toneladas por mes)
4. Establecer un programa de control de calidad de acuerdo a los parámetros establecidos por el sistema HACCP (The hazard critical control point system).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la planta de procesamiento y acondicionamiento de granos de Zamorano; la cual se encuentra ubicada en el valle del Río Yeguaré, a los 14° de latitud norte y 87° 02' a una altitud de 805 msnm. La temperatura promedio es de 26°C y la precipitación anual es de 1100 mm. La humedad relativa promedio durante la cosecha de maíz es de 50-70%.

### 4.1 MATERIALES

1. **Materia prima:** grano de maíz cosechado a un promedio de 21-25% de humedad (base húmeda), proveniente de productores independientes y de lotes certificados de Zamorano. La forma de recibo era en saco, y el secado se llevó a cabo en mazorca.

2. **Maquinaria y equipo:**

- Banda clasificadora
- Banda transportadora
- Secadora estacionaria de doble entrada, que cuenta con una cámara de gas y una cámara de diesel
- Desgranadora
- Balanza
- Termómetro (rango 0-100°C)
- Termómetro bulbo húmedo y bulbo seco.

3. **Laboratorio:** todo el equipo utilizado fue del laboratorio de semillas de CITESGRAN y consiste en:

- Mezclador y divisor de semillas
- Cribas graduadas
- Sustrato no tóxico para la prueba de germinación (verde rápido)
- Germinador para las pruebas de germinación
- Stenlite (medición de humedad del grano)
- Balanza

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Área de recibo

Durante el recibo, se caracterizaron los lotes de semilla para tomar las decisiones sobre las operaciones de beneficio, de la manera siguiente:

- a. Se obtuvo una muestra representativa del lote de semilla cada 10 sacos; con el objetivo de determinar:
- Contenido de humedad inicial (3 réplicas por muestra)
  - Porcentaje de germinación inicial
  - Pureza

Con base a estos datos, se decidió el tipo de beneficio que requiere el lote de semilla.

- b. Se realizó un registro para identificar el lote. Los aspectos que se registraron fueron los siguientes:
- Fecha de recibo del lote
  - identificación o código del lote
  - Origen
  - Especie y la variedad
  - La forma de recibo (en sacos o a granel)
  - Procedencia
  - Destino (secadora de gas o secadora de diesel)
  - Peso total del lote en quintales

#### 4.2.2 Clasificación (limpieza)

Esta operación se dirigió antes del secado a todos los lotes que ingresaron a la planta de beneficiado, con el fin de reducir la cantidad del material indeseable como ser: mazorcas con daños mecánicos, por hongos, y residuos de cosecha. Esto permite que el paso del aire a través de la semilla sea más eficiente y la cantidad de agua a remover sea menor. Durante esta operación se utilizaron un promedio de 10 personas en la banda clasificadora por lote.

#### 4.2.3 Secado

Se determinó la capacidad de secado de la siguiente manera:

Durante el secado, se extrajo una muestra del lote cada 20 hrs, para determinar la pérdida de humedad total y la pérdida por hora. De esta manera se estimó el tiempo total de secado por lote, y un promedio total por temporada. De igual manera, se estimó el peso final del desgrane, olote, y agua en porcentaje del peso inicial del lote; para determinar el número de tolvas que se necesitarán al final del proceso.

#### 4.2.4 Desgranado

Los lotes se desgranaron individualmente para evitar mezcla varietal y clasificar estos de acuerdo a su origen. Se determinó el tiempo de desgrane en quintales/hora.

4.2.5 Al final del proceso, se determinó cual cámara (diesel o gas) era más eficiente en remover la humedad del lote.

4.2.6 Se realizó un análisis de control de calidad a lo largo del proceso para determinar los puntos críticos. Se estimaron tiempos de laboreo en cada proceso; y las variables que influyen en la capacidad de secado

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 PUNTOS CRÍTICOS DE CALIDAD Y TIEMPOS DE LABOREO

#### 5.1.2 Puntos críticos de calidad

Un punto crítico de calidad (pcc) es una operación (práctica, procedimiento, proceso o localización) en el cual se toma una acción correctiva o preventiva que va a eliminar, prevenir o minimizar el daño o varios daños durante el proceso.

A través de la evaluación del proceso, se determinaron puntos críticos para mantener la calidad inicial de la semilla (Figura 3). Estos son:

- a) Área de recepción: toma de humedad inicial para determinar la temperatura de secado que requiere el lote de semilla
- b) Banda de selección: selección de material indeseable. Objetivo: es la mejora de la calidad de la semilla.
- c) Secadora de doble entrada: verificar humedad del grano cada 20 horas (por la parte posterior e inferior de la misma) de esta manera se determina cuando se deben de apagar los quemadores e introducir aire para bajar la temperatura del grano y así proseguir al desgranado.
- d) Quemador: verificar funcionamiento del ventilador.  
Verificar temperatura del quemador al momento de cambiar el flujo del aire. La temperatura no debe de variar de más o menos 5°C, manteniéndose estable entre 98-95°C.
- e) Desgranadora: verificar el daño mecánico. Indicador: mucha semilla en el desperdicio. Mantener la tolva de alimentación llena.
- f) Área de secado: verificar que el número de tolvas necesarias para almacenar la semilla se encuentra en el área de llenado. Esto elimina los tiempos muertos.

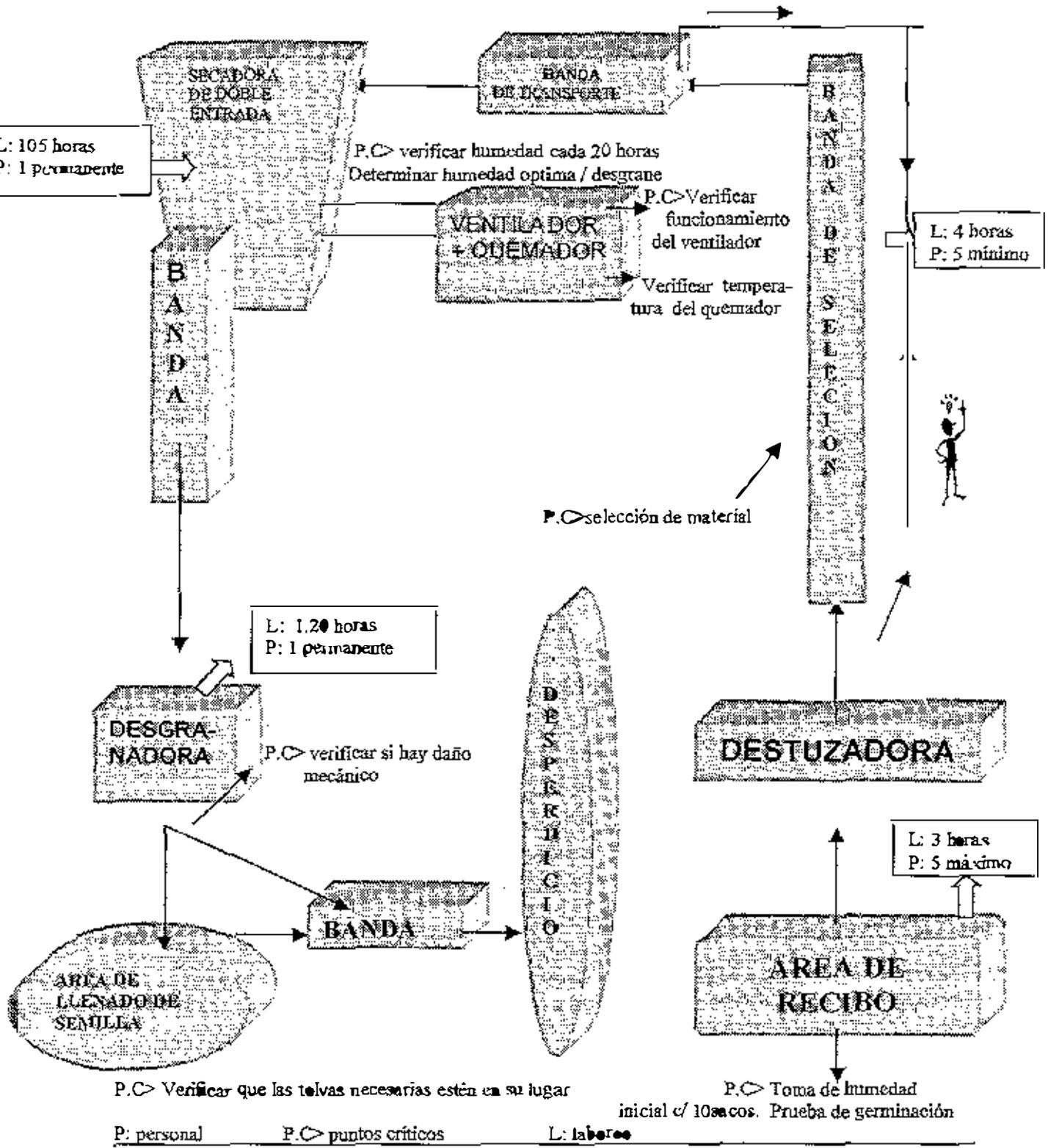


Figura 3. Puntos críticos de calidad y personal requerido en el sistema estacionario de doble entrada.

### 5.1.3 Tiempo de laboreo (para un lote de 600 qq mazorca)

Se realizó una rotación de personal durante el periodo 1999-2000 en donde se determinó el tiempo más eficiente de pre-acondicionamiento el cual fue de 113.20 hrs para un lote de 600 quintales mazorca, con un mínimo de 12 personas a lo largo del proceso: 10 temporales en el área de recibo, selección y transporte y dos permanentes en el área de secado, desgrane y llenado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tiempo de laboreo total y personal utilizado en el área de pre-acondicionamiento.

Proceso	Tiempo en horas	Personal
Recibo, selección, transporte	7	10
Secado	105	1
Desgrane y llenado	1.20	1
<b>TOTAL EN PROMEDIO</b>	<b>113.2 (0.18 horas/qq)</b>	<b>12</b>

## 5.2 CALIDAD DE LA SEMILLA

El concepto o la determinación de la calidad de los granos está relacionado con el uso final de los mismos. Las exigencias de calidad que demandan las distintas aplicaciones que pueden tener los granos son muy diferentes. No es lo mismo la demanda de un grano de maíz destinado a semilla que uno reservado para follaje.

Los granos reservados para ser empleados como semilla debe ser la de más alta calidad, entendiéndose en este caso su poder germinativo como el índice general de su medición. El deterioro de la calidad de los granos cuando son sometidos a secados severos ha sido una preocupación de todos los sectores agrícolas. Sin embargo, con el diseño de los sistemas de secado de doble entrada ha permitido mejorar los procesos de secado manteniendo la capacidad de producción (Marsang, 1984).

### 5.2.1 Daños de secado

Los daños por secado son de distinta naturaleza y gravedad; y dependen de la severidad con que se realiza el proceso y del diseño de la secadora. Los daños pueden clasificarse en (de Dios, 1987):

- Daños visuales
- Daños económicos
- Daños industriales

Los daños visuales pueden ser:

- Decoloración de los granos
- Oscurecimiento de los granos
- Cuarteado o fisurado.

Los daños económicos pueden ser:

- Mayor predisposición a la rotura. Los granos severamente secados, como ya se ha expresado, se rompen con mayor facilidad, aumentando los porcentajes de residuos que eliminan las limpiadoras.
- Mayor predisposición al ataque de hongos e insectos. Un secado violento produce, generalmente, la muerte de la mayoría de los semilla, es decir, se disminuye casi totalmente el poder germinativo. En mediciones realizadas en el INTA Pergamino (de Dios, 1987) se ha encontrado pérdidas de semillas secados con menos de 10% de poder germinativo, y algunas con 0%. Los granos muertos son más propensos, entonces, a ser atacados por hongos e insectos.

Los daños industriales se dan con el deterioro que sufren las semillas y que afectan los procesos industriales como ser:

- Semillas fisuradas producen una pérdida de solubles y de almidón durante el remojo en molienda húmeda.

- El germen de grano, rico en aceite, secado a elevada temperatura, puede perder una parte del aceite que se difunde en él endospermo. Posteriormente el rendimiento del aceite será menor y el almidón quedará con un porcentaje de materia grasa mayor de lo permitido.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se realizó una tabla de control de calidad que especifica algunos problemas que se pueden presentar durante el proceso, la causa de estos y como resolverlos. El objetivo principal de una hoja de control es de reducir las pérdidas de material en el proceso, minimizando los tiempos muertos por falta de supervisión (Cuadro 3).

Cuadro 3. Hoja de control de calidad para el sistema de secado estacionario

Problema	Causa	Solución
Bajo rendimiento de la secadora en toneladas/ hora	✓ Grano que ingresa muy sucio, con gran cantidad de hojas, pajas, materias extrañas, etc.	✓ Efectuar la pre-limpieza del grano húmedo
	✓ La temperatura del aire es inferior a la adecuada	✓ Regular el quemador ✓ Aumentar la inyección del combustible
	✓ Menor caudal de aire que el adecuado, falta de velocidad en el ventilador	✓ Regular el caudal del aire y revisar si el motor esta en buen estado
No se alcanza la temperatura correcta del aire	✓ Pérdidas por filtraciones de aire	✓ Tapar filtraciones y fugas
	✓ Mala regulación del quemador	✓ Regular el quemador ✓ Aumentar la inyección de combustible
El grano sale desuniforme en su humedad	✓ El grano no se mezcla bien en la secadora. ✓ Ingresan partidas de grano con mucha diferencia de humedad inicial	✓ No secar grano con gran diferencia de humedad
	✓ Falta un control más estricto de la humedad de salida	✓ Controlar con mayor periodicidad la humedad de la descarga o instalar un control automático
Los granos salen muy calientes	✓ Escaso enfriamiento	✓ Aumentar el tiempo de enfriamiento
	✓ Excesivo tiempo de permanencia	✓ Reducir la temperatura del aire ✓ Aumentar la descarga

	✓ Granos sobresecados	✓ Controlar bien la humedad de salida
	✓ Escaso tiempo de permanencia (granos con poca humedad inicial)	✓ Disminuir la descarga ✓ Reducir la temperatura del aire
	✓ Muy alta temperatura exterior	✓ Secar de noche
El quemador no se prende	✓ Piloto que se apaga ✓ El encendido electrónico no funciona	✓ Mantener el tanque de combustible siempre lleno
Elevado consumo de combustible	✓ Temperaturas de secado son muy altas ✓ Quemador mal regulado ✓ Temperatura exterior muy baja	✓ Reducir temperatura de secado ✓ Regular quemador ✓ Secar en temperaturas más cálidas
Aparecen granos tostados o quemados	✓ Tiempo de permanencia excesivo	✓ Aumentar la velocidad de descarga
	✓ Se trabaja con temperaturas de secado más elevadas de lo necesario	✓ Disminuir la temperatura de secado
Se apaga la llama	✓ Falta de combustible ✓ El sistema de control de llama corta el paso del combustible por exceder la temperatura fijada para el secado ✓ Falla del sistema de control	✓ Suministrar el combustible necesario ✓ Revisar la cámara de secado, o modificar la regulación de temperatura ✓ Revisar el sistema de control
Se arroja mucha basura al exterior	✓ Grano que ingresa muy sucio ✓ Falta de pre-limpieza del grano ✓ Falta de un sistema apropiado para recoger basura	✓ Efectuar la pre-limpieza

### 5.3 LIMPIEZA DE LA PLANTA

Según Aguirre y Peske (1988), la limpieza de la planta es uno de los aspectos más importantes para mantener la calidad de la semilla, ya que ésta evita que se presente mezcla varietal y al mismo tiempo proporciona un ambiente cómodo para trabajar. Durante el secado se debe evitar que diferentes variedades del mismo cultivo pasen consecutivamente por la misma línea de beneficio, por lo contrario; se deben alternar los cultivos para facilitar la limpieza y disminuir los riesgos de contaminación.

Cuando se cambia el lote pero se sigue trabajando con la misma variedad, no se requiere una limpieza estricta de la planta pero sí debe pasar primero todo el lote y luego hacer una limpieza general, para comenzar posteriormente el acondicionamiento del siguiente lote.

Como resultado del análisis de control de calidad, se establecieron puntos críticos en donde se debe realizar una limpieza rigurosa, al final de cada proceso:

1. Al inicio de la limpieza, se tienen que abrir totalmente las tolvas y remover aquellas partes de la maquina donde se pueda acumular material no deseable.
2. Tapar todos los huecos, grietas, o rendijas que puedan existir en la secadora donde se pueda acumular semilla.
3. Poner a trabajar los equipos de la planta en vacío, los elevadores, las bandas, los transportadores y la mesas de gravedad.
4. Realizar la limpieza de la desgranadora con la aspiradora. Revisar que no queden residuos.
5. Realizar una limpieza general del área de trabajo, al final de cada proceso; para facilitar el trabajo de los operarios.

El equipo de limpieza necesario incluye:

- ✓ Aspiradoras
- ✓ Sopladores y
- ✓ Escobas
- ✓ Aire a presión

#### 5.4 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PRE-ACONDICIONAMIENTO

Se evaluaron 12 lotes (tres provenientes de un productor independiente y 9 provenientes de Zamorano) durante las etapas de recibo, secado y desgrane. Los parámetros que se analizaron fueron:

- Peso inicial y final del lote al desgrane
- Humedad inicial y final del lote al desgrane
- Costo de secado en cada cámara
- Capacidad de secado de la planta

En el cuadro 4 se especifica la procedencia de cada lote, cantidad inicial y variedad. La cantidad de quintales que se evaluaron fueron 6,326.87.

Cuadro 4. Procedencia del lote y cantidad inicial de la variedad Guayape

Procedencia	Lote	Peso recibo (qq)
Cantarrana	1	452.65
Cantarrana	2	591.85
Cantarrana	3	630.87
Zavala	1	324.43
San Nicolás T1	1	483
San Nicolás T1	2	591.85
San Nicolás T1	3	481.77
San Nicolás T1	4	530.67
San Nicolás T1	5	643.4
San Nicolás T2	1	570.57
San Nicolás T2	2	495.89
Santa Inés T1	1	529.92
Total		6326.87

La distribución de los lotes a cada secadora se realizó de acuerdo a la rotación de los mismos en el sistema de pre-acondicionamiento (Cuadro 5). En esta etapa del proceso, se tomó la humedad inicial y final al secado y el tiempo de secado en horas, con el objetivo de determinar la eficiencia de secado del equipo (quintales / hora).

Se puede observar, que en promedio; la secadora de gas es más eficiente en secar un lote de 500 qq mazorca a un porcentaje de humedad inicial de 22% que la secadora de diesel superando a este en cinco horas de secado total. La secadora de gas puede secar en promedio 5.55 qq/ hora, mientras que la secadora de diesel puede secar en promedio 5.09 qq/hora (Cuadro 5).

Cuadro 5. Eficiencia técnica de las secadoras de diesel y de gas (quintales/hora).

Secadora de diesel

Productor	Lote	Peso inicial (qq)	Humedad (%)		Horas de secado total
			Inicial recibo	Final desgrane	
Cantarranas	1	452.65	21.32	13.24	94
Cantarranas	3	630.87	24.76	13.20	107
Zavala	1	324.43	23.39	12.28	100
San Nicolás T2	1	570.57	18.14	12.73	96
San Nicolás T1	1	483	24.99	14.96	92
Sao NicolasT1	3	481.77	19.32	12.20	110
San Nicolás T1	5	643.38	23.32	12.71	105
Promedio		512.38	22.89	13.05	100.57 (5.09 qq/h)

Secadora de gas

San Nicolás T1	2	591.85	22.12	12.24	110
San Nicolás T1	4	530.67	22.97	13.19	97
San Nicolás T2	2	495.89	18.63	12.8	96
Santa Inés T1	1	529.92	24.52	12.03	103
Cantarranas	2	506.6	21.88	13.15	72
Promedio		530.9	22.024	12.68	95.6 (5.55qq/h)

## 5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó una prueba de medias independientes para determinar si el peso inicial de ambas secadoras afectaría en la determinación de horas de secado total por secadora. No existió una diferencia significativa entre las dos secadoras (gas y de diesel) para las varianzas de peso. Las medias son iguales con una probabilidad de 70%. Sin embargo, los pesos de los lotes fueron más uniformes en la secadora de gas que en el de diesel (Cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba de medias independientes de la variable peso

SECADOR	N	Media	DevStd	Mínimo	Máximo
Diesel	7	512.38	112.01	324.4	643.38
Gas	5	531.05	37.13	495.89	591.85
Varianzas	T	DF	Prob> T		
Desigual	0.4105	7.7	0.6926		
Igual	0.3547	10.0	0.7302		
Para Ho: Varianza es igual, F: 9.10 DF: (6,4) Prob>F: 0.0510					

De igual manera se realizó una prueba de medias independientes para determinar si la diferencia en horas de secado era significativa. No existió una diferencia entre las horas reales de secado con gas y con diesel a una probabilidad de 11%. Las medias son iguales con una probabilidad del 50%. El tiempo total de secado, en promedio, de la secadora de gas es cinco horas menos que en la secadora de diesel. Sin embargo el tiempo de secado fue más uniforme en la secadora de diesel (desviación estándar de 6.92) que en la secadora de gas (desviación estándar de 6.40) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Prueba de medias independientes de la variable horas de secado

SECADOR	N	Media	DevStd	Varianza	T	DF	Prob> T
Diesel	7	100.57	6.92	Desigual	0.7	5.3	0.5030
Gas	5	95.6	14.3	Igual	0.8	10.0	0.4388
Para Ho: varianza es igual, F: 4.28 DF=(4,6) Prob>F: 0.1125							

## 5.6 ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó un análisis de costos preliminar, para ambas secadoras tomando los parámetros más importantes como ser los costos fijos de mano de obra y los costos variables (electricidad y combustible). El costo total de secado de la secadora de gas es de L.15.59 por quintal procesado, y en la secadora de diesel es de L.14.89, dando un costo total para 10,600 quintales mazorca ingresados al procesamiento durante el período 99-2000 de L.27.43 por quintal (Cuadro 8).

Esto nos indica, que aunque la secadora de gas es más eficiente en remover la humedad en horas totales de secado, el costo de ésta es mayor en L.0.70 céntavos por quintal.

Cuadro 8. Estimación de costos durante el período 99-2000 en el sistema de pre-acondicionamiento de Zamorano para 10,600 quintales mazorca.

Costos fijos	Total /mes (L.)		Costo total por qq (L.)
Mano de obra permanente (7)	20,500		1.93
Mano de obra temporal (10)	11,000		1.03
		<i>Sub. total</i>	<i>2.96</i>
Costos variables	Cantidad Kw/hora	Horas/mes	Costo total por qq (L.)
<b>Electricidad</b>			
-Elevador	0.5	120	0.02
-Bandas (3)	1.0	240	0.05
-Ventiladores			
Gas	12	576	1.53
Diesel	10	576	1.36
-Desgranadora	10	120	0.14
		<i>Sub. total</i>	<i>3.1</i>
Combustible	Total temporada (L.)		Costo total por qq (L.)
Gas	58,488.27		11.03
Diesel	58,844.13		10.34
		<i>Sub. total</i>	<i>21.37</i>
		<b>Total</b>	<b>27.43</b>
Costo total en la secadora de diesel: L. 14.87/qq			
Costo total en la secadora de gas: L. 15.59/qq			
Costo total de secado por quintal: L. 27.43			

## 5.7 EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS

### 5.7.1 Eficiencia Térmica

La unidad de medida de la eficiencia térmica fue el promedio total por hora y la pérdida de humedad total del lote tanto por el flujo superior como el flujo inferior. De esta manera se estimó las horas reales y teóricas de secado.

Se analizaron ocho lotes (tres provenientes de Cantarranas y cinco provenientes de San Nicolás), de los cuales se escogieron dos lotes representativos (uno para la cámara de diesel y otro para la cámara de gas) para mostrar el análisis que se realizó.

Por ejemplo, para el lote 2 de Cantarranas (506 quintales) se determinó la cantidad de humedad que se extrajo por hora, tanto del flujo superior como inferior. En la secadora de gas, el flujo inferior removió en promedio 0.13% de humedad por hora y el flujo superior 0.10%. La mayor pérdida de humedad se dio durante las primeras 40 horas alcanzando una pérdida máxima para el flujo inferior de 0.19%/hora, y para el flujo superior de 0.14%/hora (Cuadro 9).

Cuadro 9. Eficiencia térmica de la secadora de gas en porcentaje de humedad extraída por hora y total del maíz proveniente de Cantarranas, lote 2 (productor independiente)

Fecha	Hora de muestreo	Humedad (%)			Horas entre muestreo
		Al recibo	Por el flujo superior	Por el flujo inferior	
6-11-99	9:30 a.m.	21.88			
7-11-99	7:00 a.m.		18.64 *p/hu: 3.24 *p/ho: 0.14%	17.56 *p/hu: 4.32 *p/ho: 0.19%	22 después de recibo
9-11-99	7:00 a.m.		13.94 *p/hu: 4.7 *p/ho: 0.06%	12.36 *p/hu: 5.2 *p/ho: 0.07%	72

\*p/hu: pérdida de humedad  
p/ho: pérdida por hora

La pérdida de humedad en la secadora de gas es más uniforme tanto por el flujo inferior como por el flujo superior (Gráfica 1). No se puede observar con precisión donde se realiza el cambio del flujo, esto se debe a que el caudal de aire es lo suficientemente potente como para atravesar toda la capa de semilla dando como resultado: un menor número de horas de secado, y una mayor pérdida de humedad por hora.

Sin embargo, el flujo inferior ó aire directo siempre tiene una mayor capacidad de extracción de humedad, ya que este se aplica en la primera tanda de secado que es cuando la semilla se encuentra más húmeda; por lo tanto el porcentaje de humedad por hora removida es mayor (\*1).

Como se observa en el gráfico, la mayor pérdida de humedad se dio durante las primeras 40 horas (\*2), y el cambio de flujo (de inferior a superior) se realizó a las 50 horas promedio (Gráfico 1).

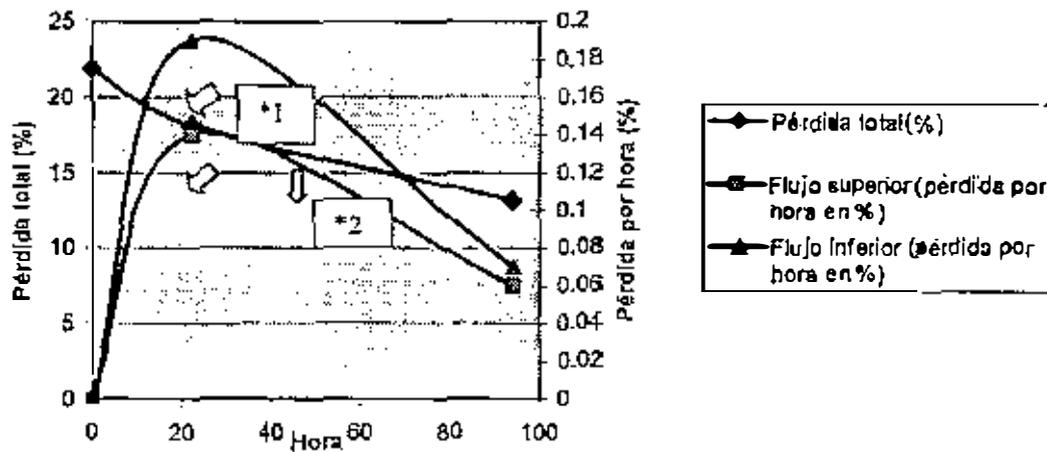


Gráfico 1. Eficiencia térmica de la secadora de gas

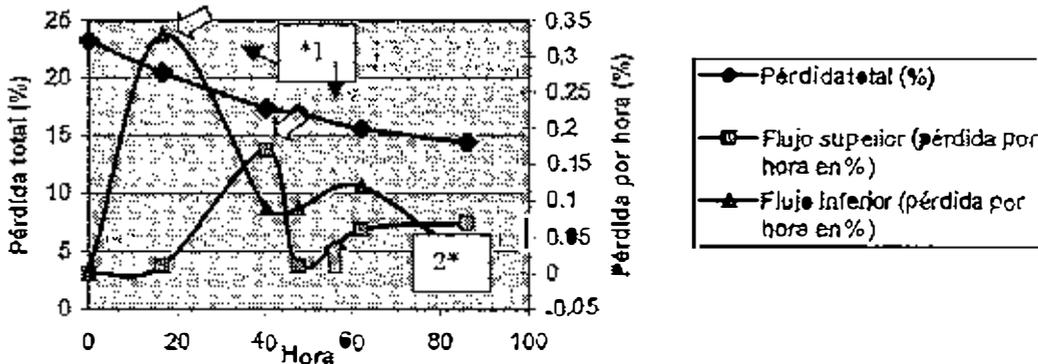
En la secadora de diesel, para el lote 5 de San Nicolás (643.4 qq) el flujo inferior removió en promedio 0.09% de humedad por hora y el flujo superior 0.07%. La mayor pérdida de humedad se dio durante las primeras 40 horas alcanzando una pérdida máxima para el flujo inferior de 0.09%/hr, y para el flujo superior de 0.17%/hr (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Eficiencia técnica de la secadora de diesel en porcentaje de humedad extraída por hora y total proveniente del área de San Nicolás

Fecha	Hora de muestreo	Humedad (%)			Horas entre muestreo
		Al recibo	Por el flujo superior	Por el flujo inferior	
9-12-99	4:00 p.m.	23.32			
10-12-99	8:45 a.m.		23.16 *p/hu: 0.16 *p/ho: 0.00%	17.85 *p/hu: 5.45 *p/ho: 0.33%	16.45 horas después de recibo
11-12-99	9:00p.m.		19.03 *p/hu: 4.13 *p/ho: 0.17%	15.67 *p/hu: 2.18 *p/ho: 0.09%	24
11-12-99	4:30p.m.		18.95 *p/hu: 0.08 *p/ho: 0.01%	15.00 *p/hu: 0.67 *p/ho: 0.09%	7.30
12-12-99	7:00a.m.		18.00 *p/hu: 0.95 *p/ho: 0.06%	13.17 *p/hu: 1.83 *p/ho: 0.12%	14.3
13-12-99	7:00a.m.		16.09 *p/hu: 1.91 *p/ho: 0.07%	12.69 *p/hu: 0.48 *p/ho: 0.02%	24
13-12-99	3:30p.m.		14.45 *p/hu: 1.64 *p/ho: 0.05%	12.05 *p/hu: 0.64 *p/ho: 0.02%	32
14-12-99	7:30p.m.		13.27 *p/hu: 1.18 *p/ho: 0.07%	11.95 *p/hu: 0.1 *p/ho: 0.02%	16

\*p/hu: pérdida de humedad  
p/ho: pérdida por hora

La pérdida de humedad en la secadora de diesel es menos uniforme en comparación a la secadora de gas. Se puede observar que el porcentaje de humedad que se extrae durante las primeras 20 horas es mucho mayor en la secadora de diesel que en la de gas, pero éste baja drásticamente en las siguientes 20 horas a un porcentaje de tan solo 0.05% por hora. Mientras que en la secadora de gas este porcentaje se mantiene más o menos estable a lo largo del proceso. La pérdida de humedad es mayor en las primeras 40 horas (\*1). El cambio de flujo se pueden detectar con facilidad a las 60 horas. De esta manera se puede notar que el caudal de aire es menor en la secadora de diesel, ya que no atraviesa totalmente la masa durante el primer periodo de secado. Este caudal más débil reduce el consumo de energía, pero prolonga el tiempo de secado. (Gráfica 2).



Gráfica 2. Eficiencia térmica de la secadora de diesel

## 5.8 ESTIMACION DE PESO FINAL DE DESGRANE, OLOTE, Y PÉRDIDA DE HUMEDAD TOTAL POR LOTE

Se realizó un análisis de 12 lotes (nueve lotes de Zamorano, y tres lotes del productor independiente), con el objetivo de determinar el porcentaje de olote, material desgranado, y pérdida total que se tendrá al final del proceso. Al final del secado, se tomó el peso del olote y de la semilla para determinar el porcentaje de estos sobre el peso inicial del lote. La base para realizar estos cálculos fue que a lo largo del proceso durante la temporada 1999-2000, no se tenía el porcentaje de olote y material desgranado al final del proceso. Se tuvieron algunos problemas durante el pre-acondicionamiento ya que en algunas ocasiones no había disponibilidad de tolvas para guardar el producto desgranado y el desperdicio, aumentando los tiempos muertos durante el proceso.

Con este cálculo se puede tener un estimado del producto final, y así reducir el tiempo muerto (Cuadro 11):

Cuadro 11. Porcentaje de peso final desgrane, olote y pérdida total en lotes de Zamorano y productor independiente

Variables (en porcentaje del peso inicial)	Lotes de Zamorano	Lotes independientes
Olote promedio	23.14	23
Peso desgrane	44.61	65
Pérdida total	38.52	33

Como un ejemplo, con un ingreso de 600 qq mazorca de lotes independientes, se puede estimar la cantidad de olote y material desgranado de esta manera:

- $600 \text{ qq} * 23\%$  (de olote sobre el peso inicial): 138 qq de olote al final del desgrane
- $600 \text{ qq} * 70\%$  (Peso desgrane sobre el peso inicial): 420 qq semilla

### 5.8.1 Desgranado (número de quintales por hora)

Durante el desgrane, se tomaron datos de 12 lotes dando como promedio:

- 40qq/7 minutos

Continuando con el ejercicio anterior, se puede estimar la cantidad de tolvas que se necesitan al final del proceso. El operario tendrá que tener estas tolvas listas para reducir el tiempo muerto.

- 138qq de olote/40 qq tolva: 4 tolvas promedio en el área de desperdicio
- 420qq semilla/40 qq tolva: 10 tolvas promedio en el área de llenado de semilla

## 5.9 CAPACIDAD DE SECADO

El término "capacidad de secado" tiene una importancia fundamental, porque es un parámetro, quizás el más utilizado en el desempeño de las secadoras. Intervienen en casi todos los cálculos, en los proyectos, y en los costos de secado. Por medio de este parámetro se puede determinar cuantos quintales o toneladas se pueden recibir por temporada de la siguiente manera:

1. Calcular el promedio de recepción diaria de grano húmedo en toda la temporada
2. Fijar una capacidad de secado mayor a este dato.

### 5.9.1 Capacidad de secado de la planta

- Se estimó un promedio de 2 camiones por día con 28 toneladas cada uno (600 qq cada uno)
- Con una humedad de 24%
- Que se secan en promedio 110 horas
- = toneladas hora: 0.5 ton/hora (11.2 qq/h)

### 5.9.2 Entrada por mes

- Capacidad de las secadoras (diésel+gas): 56 ton (1,200 qq)
- Se secan 56 toneladas en 4.5 días.
- En 30 días se pueden secar 373,3 toneladas (que es un promedio de 13 camiones/mes).
- Esto da como resultado una entrada máxima de la planta de 400 ton/mes, y una entrada mínima es de 350 ton/mes.

## VI. CONCLUSIONES

1. Para que el sistema de secado sea eficiente se necesita un máximo de 12 personas en el proceso, ya que si se excede este número; el sistema se vuelve ineficiente.

La distribución a lo largo del proceso debe ser la siguiente:

a. Recibo:

- 5 temporales (descarga y pesado)

b. Selección y desgrane:

- 5 temporales

c. Secado:

- 1 permanente (toma de datos de las características del lote)

d. Arca de llenado

- 2 permanentes

2. Se estimó que el tiempo total de laboreo para un lote de 600 qq mazorca, con una humedad promedio inicial de 24%, desde la etapa de recibo, clasificado, secado y desgrane; fue de 110 hrs. (4.5 d.), resultando en una capacidad de 400 ton. por mes máximo (350 ton. mínimo).

3. La secadora de gas fue más eficiente en remover la humedad inicial del grano que la secadora de diesel superando a ésta en 1% (cinco hrs de diferencia) del tiempo total y un 1% sobre la humedad final (0.37%).

4. En ambas secadoras, la pérdida de humedad por hora fue mayor por el flujo inferior debido a que existe una menor presión estática y la humedad inicial a remover es mayor. Sin embargo, la pérdida de humedad por hora en el flujo inferior es mayor en la secadora de gas (0.10%/hora), comparada con la pérdida de humedad de la secadora de diesel (0.07%/h), esto se debe a que el caudal de aire en la secadora de gas es mayor que en la secadora de diesel. Sin embargo, a pesar de que la secadora de gas es más eficiente, el costo total de la misma es mayor (L. 0.70 centavos más por quintal).

5. El tiempo total de desgrane para un lote de 600 qq es de 70 min. (1.10 hrs.), lo cual requiere 10 tolvas listas para almacenar la semilla. Para la producción mínima de 350 ton. por mes se necesitarían 60 tolvas con el objetivo de reducir tiempos muertos.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio sobre la conveniencia de emplear mayores temperaturas de secado en la primera etapa (104 ° F), donde el grano está más húmedo y menores temperaturas en la segunda etapa (98 ° F), cuando el grano está más seco; refiriéndose en especial al maíz.  
Según la literatura, con el uso de temperaturas diferenciales, se obtiene un incremento en el rendimiento térmico de la secadora que puede estar alrededor del 15%.
2. Para secar lotes grandes, mayor de 600 qq, se recomienda usar la secadora de gas.
3. Para aumentar la eficiencia del proceso debe delegarse una persona responsable durante todo el periodo, que estará encargada de:
  - Tomar datos del ingreso de la semilla
  - Verificar los puntos críticos y problemas existentes durante el proceso
  - Realizar los cálculos necesarios para estimar la cantidad de semilla y olote que se obtendrá al final del proceso; esto con el objetivo de tener las tolvas necesarias disponibles, reduciendo así los tiempos muertos.
4. Realizar un estudio económico más amplio sobre el costo real del beneficiado de la semilla, donde se tomen en cuenta: depreciaciones de los equipo, maquinaria y edificio; el mantenimiento de edificios y equipos, seguros y gastos financieros.
5. Llevar registros de las operaciones para tener la historia de cada lote y poder detectar algún problema en caso de necesidad.
6. Los daños causados a la semilla durante el secamiento generalmente se manifiestan de dos a tres meses después, razón por la cual se recomienda guardar las muestras tomadas de humedad durante el secamiento de dos a tres meses para determinar su viabilidad en ese momento. Esto se puede establecer como un parámetro de control de calidad para la empresa.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, R.V.; PESKE, S. 1988. Manual para el beneficio de semilla. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia p. 2-16.
- BERNAL, H. 1982. Construcción y evaluación de un secador de granos con aire movido por convección natural. Vicosá, Universidad Federal de Vicosá. Brasil. 59 p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. 1974. Drying cereal grains. Westport, AVI. 265 p.
- de DIOS, C.A. 1987. El peso hectrolítico del grano (malz). Carpeta de producción vegetal. INTA Pergamino. Argentina. Tomo VIII. 2 p.
- FAO. 1991. Secado de granos a altas temperaturas. Santiago de Chile. p. 2-15.
- FAO. 1999. La ingeniería en el desarrollo. Trilla, desgrane y secado. Santiago de Chile. p. 8-14
- GOULD, A. 1993. Total Quality Assurance for Food Industries. 2nd. Edition CTI publication. Baltimore, MD. USA p. 6
- MARSANG, G. 1984. Sistemas o métodos de secado no convencionales propuestos para una mejor tecnología. Jornadas de Secado y Aireación de Granos. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. p. 5-30

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Formato para control de secado

#### Secadora de

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
			*p/hu: *p/ho:	*p/hu: *p/ho:	
			*p/hu: *p/ho:	*p/hu: *p/ho:	
			*p/hu: *p/ho:	*p/hu: *p/ho:	
			*p/hu: *p/ho:	*p/hu: *p/ho:	
			*p/hu: *p/ho:	*p/hu: *p/ho:	

\*p/hu: pérdida de humedad

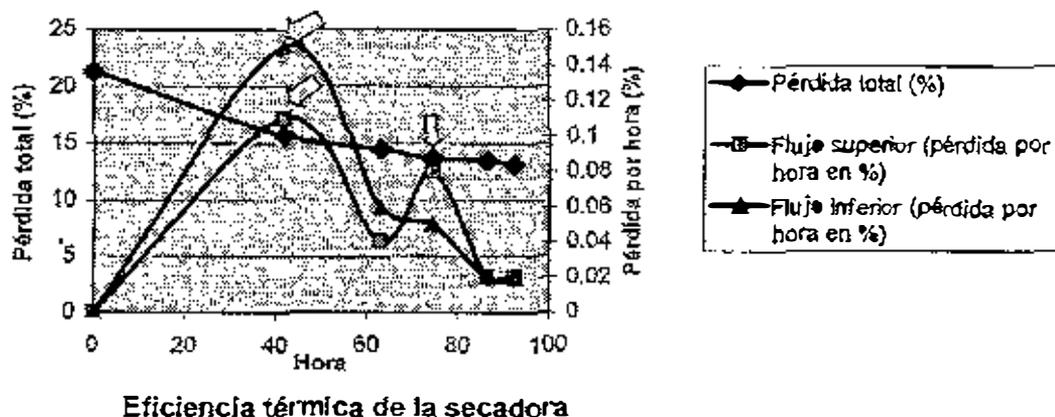
p/ho: pérdida por hora

Anexo 2. Análisis de la eficiencia térmica de siete lotes (referencia para determinar horas de secado total en ambas secadoras).

**Secadora de diesel**  
**Productor Independiente**  
**Cantarranas L1**

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
4-11-99	4:00 p.m.	21.32			
6-11-99	10:15 a.m.		16.33 *p/hu: 4.99 *p/ho: 0.11%	14.99 *p/hu: 6.33 *p/ho: 0.15%	42 después de recibo
7-11-99	7:00 a.m.		15.29 *p/hu: 1.04 *p/ho: 0.04%	13.57 *p/hu: 1.42 *p/ho: 0.06%	21
7-11-99	6:30 p.m.		14.30 *p/hu: 0.99 *p/ho: 0.08%	13.00 *p/hu: 0.57 *p/ho: 0.05%	11.3
8-11-99	7:00 a.m.		13.95 *p/hu: 0.35 *p/ho: 0.02%	12.65 *p/hu: 0.35 *p/ho: 0.02%	12
8-11-99	1:00 p.m.		13.79 *p/hu: 0.16 *p/ho: 0.02%	12.50 *p/hu: 0.15 *p/ho: 0.02%	6

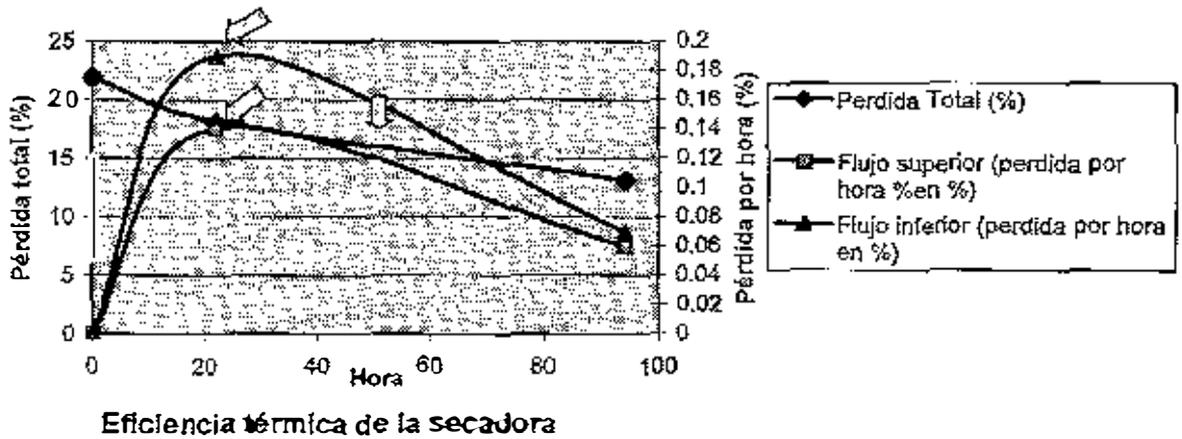
\*p/hu: pérdida de humedad  
 p/ho: pérdida por hora



**Secadora de gas**  
**Productor Independiente**  
**Cantarranas L2**

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
6-11-99	9:30 a.m.	21.88			
7-11-99	7:00 a.m.		18.64 *p/lu: 3.24 *p/ho: 0.14%	17.56 *p/lu: 4.32 *p/ho: 0.19%	22 después de recibo
			13.94 *p/lu: 4.7 *p/ho: 0.06%	12.36 *p/lu: 5.2 *p/ho: 0.07%	72

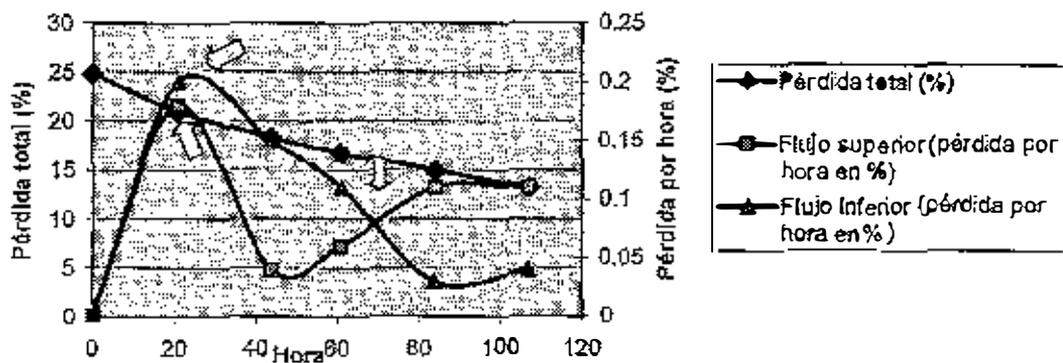
\*p/lu: pérdida de humedad  
 p/ho: pérdida por hora



## Secadora de diesel Productor Independiente Cantarranas L3

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
10-11-99	4:00 p.m.	24.76			
11-11-99	1:00 p.m.		20.96 *p/hu: 3.8 *p/ho: 0.18%	20.94 *p/hu: 4.32 *p/ho: 0.20%	21 horas después de recibo
12-11-99	2:00 p.m.		19.88 *p/hu: 1.08 *p/ho: 0.04%	16.84 *p/hu: 3.6 *p/ho: 0.15%	23
13-11-99	7:00 a.m.		18.73 *p/hu: 1.15 *p/ho: 0.06%	14.84 *p/hu: 2.00 *p/ho: 0.11%	17
14-11-99	6:30 p.m.		16.07 *p/hu: 2.66 *p/ho: 0.11%	13.97 *p/hu: 0.87 *p/ho: 0.03%	23
15-11-99	7:00 a.m.		13.53 *p/hu: 2.54 *p/ho: 0.11%	12.87 *p/hu: 1.1 *p/ho: 0.04%	23

\*p/hu: pérdida de humedad  
p/ho: pérdida por hora

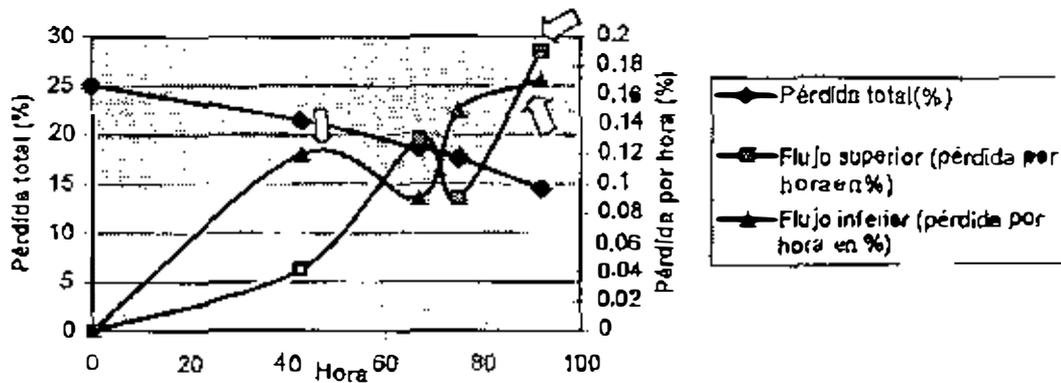


Eficiencia térmica de la secadora

## Secadora de diesel San Nicolás T1 L1

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
28-11-99	12:00 p.m.	24.99			
30-11-99	7:00 a.m.		23.16 *p/lu: 1.83 *p/ho: 0.042%	19.76 *p/lu: 5.23 *p/ho: 0.12%	43 horas después de recibo
1-12-99	7:00 a.m.		19.92 *p/lu: 3.24 *p/ho: 0.13%	17.42 *p/lu: 2.34 *p/ho: 0.09%	24
1-12-99	3:30 p.m.		19.13 *p/lu: 0.76 *p/ho: 0.05%	16.19 *p/lu: 1.23 *p/ho: 0.15%	8
2-12-99	7:15 a.m.		15.82 *p/lu: 3.31 *p/ho: 0.19%	13.16 *p/lu: 3.03 *p/ho: 0.17%	17

\*p/lu: pérdida de humedad  
p/ho: pérdida por hora

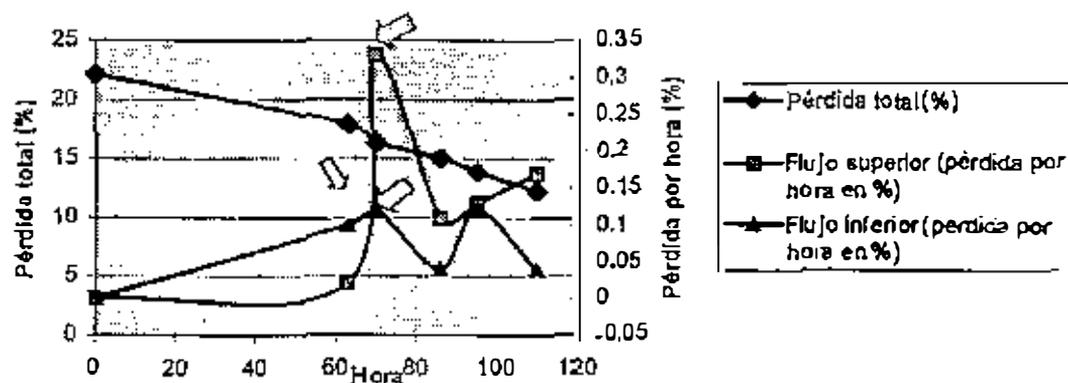


Eficiencia térmica de la secadora

## Secadora de gas San Nicolás L2

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
29-11-99	5:00 p.m.	22.12			
2-12-99	8:00 a.m.		20.60 *p/hu: 1.52 *p/ho: 0.02%	15.26 *p/hu: 6.86 *p/ho: 0.10%	63 horas después de recibo
2-12-99	3:00 p.m.		18.27 *p/hu: 2.33 *p/ho: 0.33	14.42 *p/hu: 0.84 *p/ho: 0.12%	7
3-12-99	7:00 a.m.		16.41 *p/hu: 1.83 *p/ho: 0.11	13.69 *p/hu: 0.73 *p/ho: 0.04	16
3-12-99	4:00 p.m.		15.23 *p/hu: 1.21 *p/ho: 0.13	12.54 *p/hu: 1.15 *p/ho: 0.12%	9
4-12-99	7:00 a.m.		12.58 *p/hu: 2.65 *p/ho: 0.17	11.90 *p/hu: 0.64 *p/ho: 0.04%	15

\*p/hu: pérdida de humedad  
p/ho: pérdida por hora

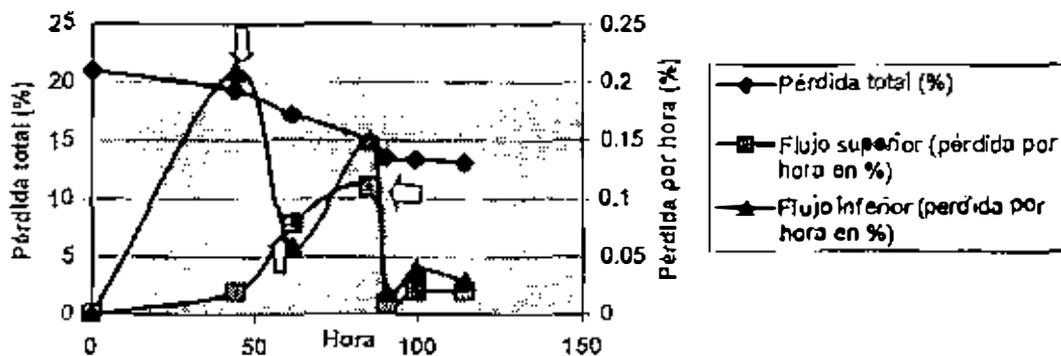


Eficiencia térmica de la secadora

## Secadora de diesel San Nicolás T1 L3

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
3-12-99	5:00 p.m.	21			14 horas después del recibo
4-12-99	7:00 a.m.		20.64 *p/hu: 0.36 *p/h: 0.02%	18 *p/hu: 3 *p/h: 0.21	30
5-12-99	1:00 p.m.		18.36 *p/hu: 2.28 *p/h: 0.08%	16.25 *p/hu: 1.75 *p/h: 0.06	17.45
6-12-99	6:45 a.m.		16.30 *p/hu: 2.06 *p/h: 0.11%	13.63 *p/hu: 2.62 *p/h: 0.15	24
7-12-99	12:45 a.m.		14.18 *p/hu: 0.06 *p/h: 0.01%	12.92 *p/hu: 0.71 *p/h: 0.02%	5
7-12-99	4:00 p.m.		14.07 *p/hu: 0.11 *p/h: 0.02%	12.70 *p/hu: 0.22 *p/h: 0.04%	9
8-12-99	7:00 a.m.		13.65 *p/hu: 0.42 *p/h: 0.02%	12.56 *p/hu: 0.14 *p/h: 0.03%	15

\*p/hu: pérdida de humedad  
p/h: pérdida por hora

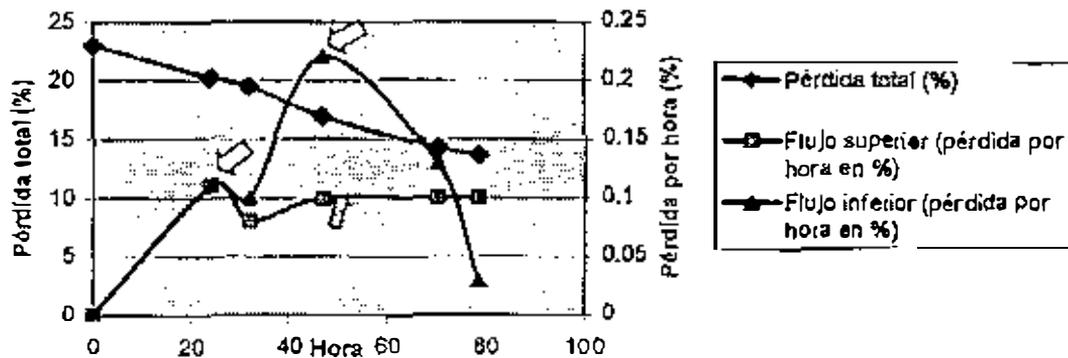


Eficiencia térmica de la secadora

## Secadora de gas San Nicolás T1 L4

Fecha	Hora de muestreo	Humedad al recibo	Humedad por arriba	Humedad por abajo	Horas entre muestreo
7-12-99	7:30 a.m.	22.97			
8-12-99	7:00 p.m.		20.24 *p/ha: 2.73 *p/ho: 0.11%	20.25 *p/ha: 2.72 *p/ho: 0.11%	24 horas después de recibo
8-12-99	3:30 a.m.		19.59 *p/ha: 0.65 *p/ho: 0.08%	19.42 *p/ha: 0.83 *p/ho: 0.10%	8
9-12-99	6:30 a.m.		17.96 *p/ha: 1.63 *p/ho: 0.10%	16.03 *p/ha: 3.39 *p/ho: 0.22%	15.03
10-12-99	7:00 p.m.		15.47 *p/ha: 2.49 *p/ho: 0.10%	12.99 *p/ha: 3.04 *p/ho: 0.13%	23.30
10-12-99	3:30 p.m.		14.60 *p/ha: 0.87 *p/ho: 0.10%	12.71 *p/ha: 0.28 *p/ho: 0.03%	8.3
11-12-99	7:00 a.m.		13.67 *p/ha: 0.93 *p/ho: 0.06%	12.31 *p/ha: 0.4 *p/ho: 0.02%	15.30

\*p/ha: pérdida de humedad  
p/ho: pérdida por hora



Eficiencia térmica de la secadora

## Anexo 3. Estimación de peso final desgrane, olote, agua y pérdida total por lote.

San Nicolás  
t1

No. Lote	Tipo de secadora	Humedad inicial %	Humedad final %	Peso inicial mazorca (qq)	Menos 6% por desperdicio	Peso final mazorca (qq)	Peso desgrane (qq)	% del peso inicial	Peso olote (qq)	% del peso inicial	Agua removida (qq)	% del peso inicial	Pérdida total (qq)	% del peso inicial
1	Diesel	24.99	14.96	483	454.02	426	231	50.87	166	37	67	11.8	252	52
2	Gas	22.12	12.24	591.35	556.33	524.46	267.08	48	221.86	39	67.39	11.4	324.77	54.87
3	Diesel	19.32	12.2	491.77	452.86	442.7	306.06	68	107.73	23	39.07	8.1	175.71	37
4	Gas	22.97	13.19	530.67	498.82	470.88	288.1	58	150.93	30	59.79	11.26	242.57	45.71
5	Diesel	23.32	12.71	643.4	604.79	566.19	327.86	54.21	198.72	32	78.21	12.15	315.54	49.04
								Promedio						
								Desviación Estándar	55.81		32	10.84	47.72	
									6.90		5.79	1.63	6.89	

San Nicolás  
t2

No. Lote	Tipo de secadora	Humedad inicial %	Humedad final %	Peso inicial mazorca (qq)	Menos 6% por desperdicio	Peso final mazorca (qq)	Peso desgrane (qq)	% del peso inicial	Peso olote (qq)	% del peso inicial	Agua removida (qq)	% del peso inicial	Pérdida total (qq)	% del peso inicial
1	Diesel	18.14	12.73	570.57	538.33	535.19	288.61	64	212.44	39	35.38	6.2	282.08	49.43
2	Gas	18.63	12.8	495.89	468	462.73	320.91	69	111.93	24	33.16	6.68	174.98	36.28
								Promedio						
								Desviación Estándar	62		31.6	6.44	42.355	
									10.0		5.18	0.34	10.01	

## Zavala t1

No. Lote	Tipo de secadora	Humedad inicial %	Humedad final %	Peso inicial mazorca (qq)	Menos 6% por desperdicio	Peso final mazorca (qq)	Peso desgrane (qq)	% del peso inicial	Peso olote (qq)	% del peso inicial	Agua removida (qq)	% del peso inicial	Pérdida total (qq)	% del peso inicial
1	Diesel	28.39	12.28	324.43	304.9	264.84	158.65	51	88.35	28	60	18	169	51.78
Promedio								51		28		18		51.78
Desviación Estándar								-		-		-		-

## Santa Inés t1

No. Lote	Tipo de secadora	Humedad inicial %	Humedad final %	Peso inicial mazorca (qq)	Menos 6% por desperdicio	Peso final mazorca (qq)	Peso desgrane (qq)	% del peso inicial	Peso olote (qq)	% del peso inicial	Agua removida (qq)	% del peso inicial	Pérdida total (qq)	% del peso inicial
1	Gas	24.52	12.03	529.92	498.12	454.68	291.21	58	131.81	26	75.24	14	238.72	45
Promedio								58		26		14		45
Desviación Estándar								-		-		-		-

Cantarranas/  
Productor independiente

No. Lote	Tipo de secadora	Humedad inicial %	Humedad final %	Peso inicial mazorca (qq)	Menos 6% por desperdicio	Peso final mazorca (qq)	Peso desgrane (qq)	% del peso inicial	Peso olote (qq)	% del peso inicial	Agua removida (qq)	% del peso inicial	Pérdida total (qq)	% del peso inicial
1	Diesel	21.32	13.24	452.85	425.49	410.49	323.5	76	86.89	20	42.16	9.31	129.16	28
2	gas	21.88	13.15	606.6	476.2	455.67	312.23	85	143.44	28	50.93	10	194.37	38
3	Diesel	24.76	13.2	830.87	592.9	548.85	413.07	70	133.78	21	84.02	13	217.8	34
Promedio								80		23		10.77		33.33
Desviación Estándar								5.03		4.36		1.96		5.03

## Anexo 4. FORMATO PARA EL CONTROL DE DATOS DE CAMPO.

ZAMORANO, 1999

Fecha de recibo: \_\_\_\_\_ Forma de recibo: \_\_\_\_\_  
 Tiempo en recibir: \_\_\_\_\_ Personal utilizado: \_\_\_\_\_  
 Peso inicial en quintales: \_\_\_\_\_

Nombre del Productor: \_\_\_\_\_ Procedencia: \_\_\_\_\_

Número de hectáreas: \_\_\_\_\_ Número de lote: \_\_\_\_\_ Cámara: \_\_\_\_\_

## CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA

Humedad inicial: \_\_\_\_\_ humedad final \_\_\_\_\_

% de germinación inicial: \_\_\_\_\_ % de germinación final: \_\_\_\_\_

## CARACTERÍSTICA DE SECADO

Horas de secado estimado: \_\_\_\_\_ Horas de secado real: \_\_\_\_\_

Tiempo total de secado en días: \_\_\_\_\_ Horas muertas: \_\_\_\_\_

## Control de Humedad

Fecha	Hora de muestreo	Humedad	
		Por arriba	Por debajo

Observaciones generales:

•

- Total de quintales por mazorca a humedad inicial ( ): \_\_\_\_\_
- Total de quintales por mazorca a humedad final ( ): \_\_\_\_\_

• Pérdida por secado qq ( )

• Total de quintales después de desgranado: qq ( )

Pérdida por desgrane qq ( )

• En promedio se bajo % de humedad por hora. qq ( )

## CONTROL TEMPERATURA DEL AMBIENTE

HORA	T BULBO SECO	T BULBO HÚMEDO	HUMEDAD RELATIVA
6:30			
7:30			
8:30			
9:30			
10:30			
11:30			
12:30			
1:30			
2:30			
3:30			
4:30			
5:30			
6:30			
7:30			
8:30			
9:30			

Observaciones

## CONTROL

HORA	T BULBO SECO	T BULBO HÚMEDO	HUMEDAD RELATIVA
6:30			
7:30			
8:30			
9:30			
10:30			
11:30			
12:30			
1:30			
2:30			
3:30			
4:30			
5:30			
6:30			
7:30			
8:30			
9:30			

Observaciones