

CATIE  
ST  
MT-24

# Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales



PROSEFOR

**CATIE**

Turrialba, Costa Rica  
Julio 1997



DFSC

C825

El CATIE es una institución de carácter científico y educacional, cuyo propósito fundamental es la investigación y enseñanza de posgrado en el campo de las ciencias agropecuarias y de los recursos naturales renovables aplicados al trópico americano, particularmente en los países de América Central y del Caribe.

El Proyecto Semillas Forestales PROSEFOR, promueve y apoya la capacitación y asistencia técnica a las instituciones forestales de América Central, Panamá y República Dominicana. Su objetivo general es el de mejorar la calidad física y genética y garantizar su suministro continuo para los programas de reforestación en la región. Es financiado por el Gobierno de Dinamarca y ejecutado por el CATIE en coordinación con las autoridades forestales de cada país.

Esta publicación es financiada por el Gobierno de Dinamarca, mediante el Ministerio de Relaciones Exteriores y su Programa de Asistencia Técnica, Danida y el PROSEFOR del CATIE.

- © 1997, Danida Forest Seed Centre, DFSC, Humlebaek, Dinamarca  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,  
CATIE, Turrialba, Costa Rica.

634.9562

S444 Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales  
/ Luis Fernando Jara N., adap. y ed. téc. --Turrialba, C.R. :  
CATIE. Proyecto de Semillas Forestales : Danida Forest Seed  
Centre, 1997.  
135 p.; 27 cm. -- (Serie técnica. Manual técnico; no. 24)

ISBN 9977-57-276-3

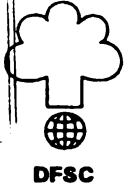
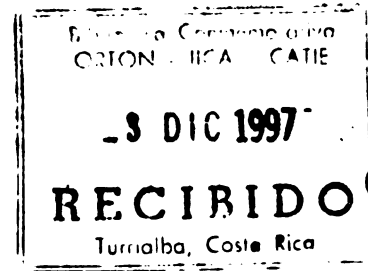
1. Semillas forestales - Secado 2. Semillas forestales -  
Almacenamiento 3. Semillas forestales - Procesamiento  
I. Jara N., Luis Fdo., adap. y ed. téc. II. CATIE. Proyecto de  
Semillas Forestales III. Danida Forest Seed Centre III. Título  
IV. Serie

Serie Técnica  
Manual Técnico No. 24

**CATIE**



PROSEFOR



DFSC

# “Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales

✓  
**Luis Fernando Jara N.**  
Adaptación y edición técnica

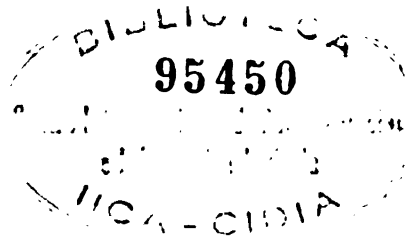
**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE**

Programa de Investigaciones  
Proyecto de Semillas Forestales - PROSEFOR  
Danida Forest Seed Centre

Turrialba, Costa Rica

1997

CATIE  
ST  
MT-24



# Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales

## CONTENIDO

	Página
<b>PREFACIO</b>	v
<b>HUMEDAD DE LAS SEMILLAS Y PRINCIPIOS DE SECADO</b>	1
F.Stubsgaard y K.M. Poulsen	
El contenido de humedad de la semilla	2
La humedad del aire	2
La relación entre el contenido de humedad de la semilla y la humedad relativa del aire	12
Secado de semillas	15
<b>PROCESAMIENTO DE SEMILLAS</b>	39
F.Stubsgaard y S.Moestrup	
Planificación del procesamiento	42
Recepción, prelimpieza y almacenamiento temporal durante el procesamiento	46
Frutos secos indehiscentes	48
Extracción	49
Limpieza y selección	68
Mantenimiento de la identidad	77
Preparación para el almacenamiento	78
Ensayos	80
Reconocimiento del equipo y de la maquinaria	80
<b>ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS</b>	95
F.Stubsgaard	
Comportamiento de la semilla en almacenamiento	95
Tipos de períodos de almacenamiento y principales grupos de especies	98
Especies ortodoxas	99
Especies recalcitrantes	107
Equipo y materiales	109
Mantenimiento de la identidad de los lotes almacenados	113
<b>LISTA DE PROVEEDORES DE EQUIPO PARA PROCESAMIENTO DE SEMILLAS FORESTALES</b>	135



## PROLOGO

Este documento se basa en las notas de clase No. C-5, C-7 y C-9 del Danida Forest Seed Centre (DFSC) de Dinamarca, relacionadas con el manejo de la humedad de semillas y principios básicos de secado, además, el procesamiento y almacenamiento de semillas forestales. Los documentos fueron traducidos, adaptados y editados por el Proyecto Semillas Forestales (PROSEFOR) del CATIE, de común acuerdo con el DFSC.

El material se presenta en tres capítulos: el primero, expone los fundamentos sobre el contenido de humedad de las semillas y del aire, y la relación que existe entre estos elementos. Incluye principios básicos y sistemas para el secado de semillas, con ejemplos ilustrados de especies forestales tropicales. Señala las ventajas y desventajas de cada sistema descrito y, en algunos casos, la forma de construir los cuartos de secado.

El segundo capítulo incluye los fundamentos del procesamiento de semillas, la planificación de esta actividad, las medidas que se deben tomar para la prelimpieza y el almacenamiento temporal durante el procesamiento. Describe las técnicas de secado por tipo de fruto y los pasos que se requieren, con ejemplos de especies tropicales, descripción de equipo y las herramientas para todos los procesos; además, destaca la importancia de mantener la identidad de los lotes de semillas para el almacenamiento.

El último capítulo se refiere al almacenamiento de las semillas; inicia con el comportamiento de éstas bajo determinadas condiciones, los tipos de periodos de almacenamiento, las diferentes condiciones y medidas que se deben tomar para almacenar diferentes tipos de semillas (ortodoxas, intermedias y recalcitrantes) y la descripción del equipo básico para el almacenamiento. Se incluyen además, ejemplos prácticos de diferentes tratamientos a las semillas para su almacenamiento y los efectos que tienen los envases sobre su viabilidad.

El PROSEFOR/CATIE expresa su reconocimiento al DFSC por la generosidad de poner a disposición este material publicado, con el fin de traducirlo y adaptarlo a las condiciones tropicales y, de esta manera, contribuir a elevar los conocimientos básicos sobre manejo de semillas forestales a los técnicos de los países latinoamericanos.



Rubén Guevara  
Director General CATIE





# HUMEDAD DE LAS SEMILLAS Y PRINCIPIOS DE SECADO<sup>1</sup>

F. Stubsgaard y K. M. Poulsen

## INTRODUCCION

El secado de frutos es parte de la dispersión natural de muchas especies forestales. Por ejemplo, las vainas dehiscentes y los conos liberan sus semillas solamente mediante el secado.

Para muchas especies ortodoxas (por ejemplo, tolerantes a la desecación) este secado prepara las semillas para un período de latencia hasta la siguiente estación húmeda y caliente en donde puedan germinar. Un ejemplo de la latencia inducida por secado, son las especies con testa dura. Estas distribuyen su tiempo de germinación a través de varias estaciones mediante el secado de las semillas y se proveen de una testa impermeable. De esta manera, pueden descansar durante una o más estaciones antes de que la testa se vuelva permeable al agua y eventualmente puedan germinar.

Para todas las especies ortodoxas, mantener la viabilidad o longevidad es cuestión de reducir la actividad de la semilla, como por ejemplo, mantener baja la temperatura y el contenido de humedad.

En la práctica, la temperatura solamente se puede controlar conservando los frutos bajo sombra y bien ventilados o almacenando las semillas en un cuarto frío.

**El contenido de humedad se puede controlar por secado. Este es el sistema más simple y seguro en la mayoría de los casos, para prolongar el período de viabilidad.**

“Secar” no es un término preciso. Las semillas se sienten y aparentan estar secas dentro de un amplio rango de contenidos de humedad. Por esta razón es necesario comprender y poder controlar el proceso de secado. Este documento explica las relaciones entre el contenido de humedad de las semillas y la humedad del aire y los métodos para controlar el proceso de secado.

Es también necesario tener métodos confiables para la determinación de contenidos de humedad. Poulsen (1994) en relación con pruebas de semillas, trata el muestreo y la determinación del contenido de humedad.

---

<sup>1</sup> Trad. “Seed moisture and drying principles”. Humlebæk, Denmark. Danida Forest Seed Centre. Lecture Note No. C-5. 30p.

## EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA SEMILLA

La semilla se puede considerar como una estructura compuesta por sustancias complejas tales como carbohidratos, proteínas y aceites, con algo de agua. La cantidad de agua puede ser aumentada o extraída.

Si una semilla se coloca en agua, la absorberá, incrementando así su contenido de humedad; si se extrae del agua, la semilla se secará, de este modo el agua se evaporará y el contenido de humedad disminuirá.

Las moléculas de agua están permanentemente en estado de vibración. Si están localizadas cerca a la superficie de la semilla, podrán escapar ocasionalmente en el aire; esto es, **evaporación**. De forma similar, las moléculas de agua en el aire se encuentran vibrando, algunas de ellas entran en contacto con la semilla y entran en ella; esto es, **absorción**. Estos dos procesos, evaporación (desorción) y absorción, funcionan continuamente. Cuando la evaporación supera la absorción, la semilla se seca; cuando la absorción excede la evaporación, la semilla incrementa su contenido de humedad. En una condición intermedia, la evaporación y absorción son iguales y el contenido de humedad de la semilla se dice que está en **equilibrio** con la humedad del aire.

**De acuerdo con las reglas del ISTA, el contenido de humedad se expresa como el peso del agua contenida como un porcentaje del peso total de la semilla antes del secado (porcentaje del peso húmedo).**

$$\% \text{ Contenido de humedad de la semilla} = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso de la muestra antes del secado}} \times 100$$

Para mayores detalles, ver Poulsen (1994) para la determinación del contenido de humedad.

## LA HUMEDAD DEL AIRE

### La humedad absoluta del aire

En un día caluroso con sol resplandeciente, el aire puede estar seco y se pueden secar semillas como también la ropa. Durante la noche, la temperatura desciende y se observa rocío o neblina en la mañana. La humedad se evapora durante el día y se condensa como rocío durante la noche cuando la temperatura baja. Cuando la temperatura sube nuevamente, la neblina desaparece, es decir se evapora.

Las moléculas de agua están en estado de vibración y su velocidad es lo que se mide como temperatura; entre más rápido vibren, más alta será la temperatura.

Las moléculas son bipolares; se pueden considerar como pequeños imanes con una carga positiva en un extremo y una negativa en el extremo opuesto. De esta manera, tratarán de conectarse unas con otras en cadenas largas, positivo con negativo y así sucesivamente. Cuando las moléculas están conectadas en cadena unas con otras, el agua está en forma líquida. Pero su vibración las soltará continuamente de las cadenas. Cuando están libres, será en forma de vapor. Cuando el agua se evapora, el vapor de agua se dispersa en el aire como un gas con su propia presión parcial.

Considere un envase cerrado parcialmente lleno de agua. Cuando se deja por un tiempo, aparecerá una condición intermedia: habrá un equilibrio entre la cantidad de moléculas soltándose ellas mismas y formando vapor (evaporación), y la cantidad de moléculas entrando en contacto con el agua y asimilando la forma líquida (condensación).

El equilibrio que se establecerá propiamente de la cantidad de moléculas libres que vibran, dependerá del vigor con que vibren las moléculas, como es la temperatura. A una mayor temperatura más moléculas escapan en forma de vapor. Por consiguiente, la cantidad de moléculas libres por unidad de aire, es decir la presión de vapor, tendrá que ser más alta antes de alcanzar un equilibrio. Cuando se logra el equilibrio, la cantidad máxima posible de moléculas será en forma de vapor dentro del envase a esa temperatura.

**La máxima cantidad de vapor de agua que se puede almacenar en un determinado volumen de aire es limitado. La cantidad depende de la temperatura; a mayor temperatura, mayor vapor de agua.**

Bajo condiciones ambientales, no siempre habrá la máxima cantidad posible de vapor de agua presente. Si la temperatura se ha elevado recientemente, el agua no habrá tenido tiempo aún para evaporarse. O en un clima seco, puede no haber agua disponible en el área para evaporación.

En condiciones ambientales el vapor de agua ocupará el volumen dado junto con el aire y tendrá la misma temperatura del aire. Y para propósitos prácticos, el vapor de agua es descrito en relación con el aire que se dispersa dentro de él.

**La humedad absoluta del aire es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Generalmente se mide en kg de agua/kg de aire seco.**

En este documento, se utilizará gramos (g) de vapor de agua/kg de aire, como también el vapor de agua se describirá como "contenido" por el aire. Como se explicó anteriormente, esto no es cierto: el vapor de agua depende solamente de su propia presión y temperatura parcial. Pero el uso del término puede facilitar la explicación y la comprensión.

Cuando el aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua, se dice que está **saturado**.

Como se explicó, la cantidad de agua que el aire contendrá dependerá de la temperatura del aire. Por tanto, si se baja la temperatura del aire que contiene cualquier cantidad de vapor de agua, tarde o temprano se alcanzará un punto donde el aire está saturado, dado que el aire frío contiene menos agua que el aire caliente. Si se baja aún más la temperatura del aire saturado, algún vapor de agua se condensará. Se podrá observar como agua en la superficie de cosas frías o como rocío en la mañana cuando la temperatura ha sido baja durante la noche.

**La temperatura en la cual el aire es saturado con vapor de agua y la condensación se inicia, depende de la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se denomina la temperatura del punto de rocío.**

En otras palabras la temperatura del punto de rocío depende de la cantidad de vapor de agua realmente presente en el aire. Entre mayor sea la cantidad de agua en el aire, más alta será la temperatura del punto de rocío. Por ejemplo, el aire con 5 g de vapor de agua/kg de aire seco alcanzará el punto de rocío cuando se enfría a 4 °C, mientras que el aire con 20 g de agua/kg de aire seco alcanzará el punto de rocío a 25° C.

El aire y el vapor de agua se expanden cuando la temperatura se eleva (aproximadamente 10% por cada 27°C). Por esta razón, la humedad absoluta se expresa en g de agua/kg de aire seco, en vez de g de agua/m<sup>3</sup> de aire. La Tabla 1 muestra el peso del aire seco ( $\gamma$ ) por m<sup>3</sup> para varias temperaturas (t). La tabla incluye el peso del vapor de agua (xs) presente en el aire saturado para las mismas temperaturas.

Tabla 1. Peso de aire seco y de vapor de agua en aire saturado para varias temperaturas.

Temperatura (t, °C)	Peso de aire seco ( $\gamma$ , kg/m <sup>3</sup> )	Peso de vapor de agua en aire saturado (xs, g/kg aire)
- 10	1.342	1.60
0	1.293	3.78
10	1.248	7.63
20	1.205	14.70
30	1.165	27.20
40	1.128	48.80
50	1.093	86.20
60	1.060	152.00

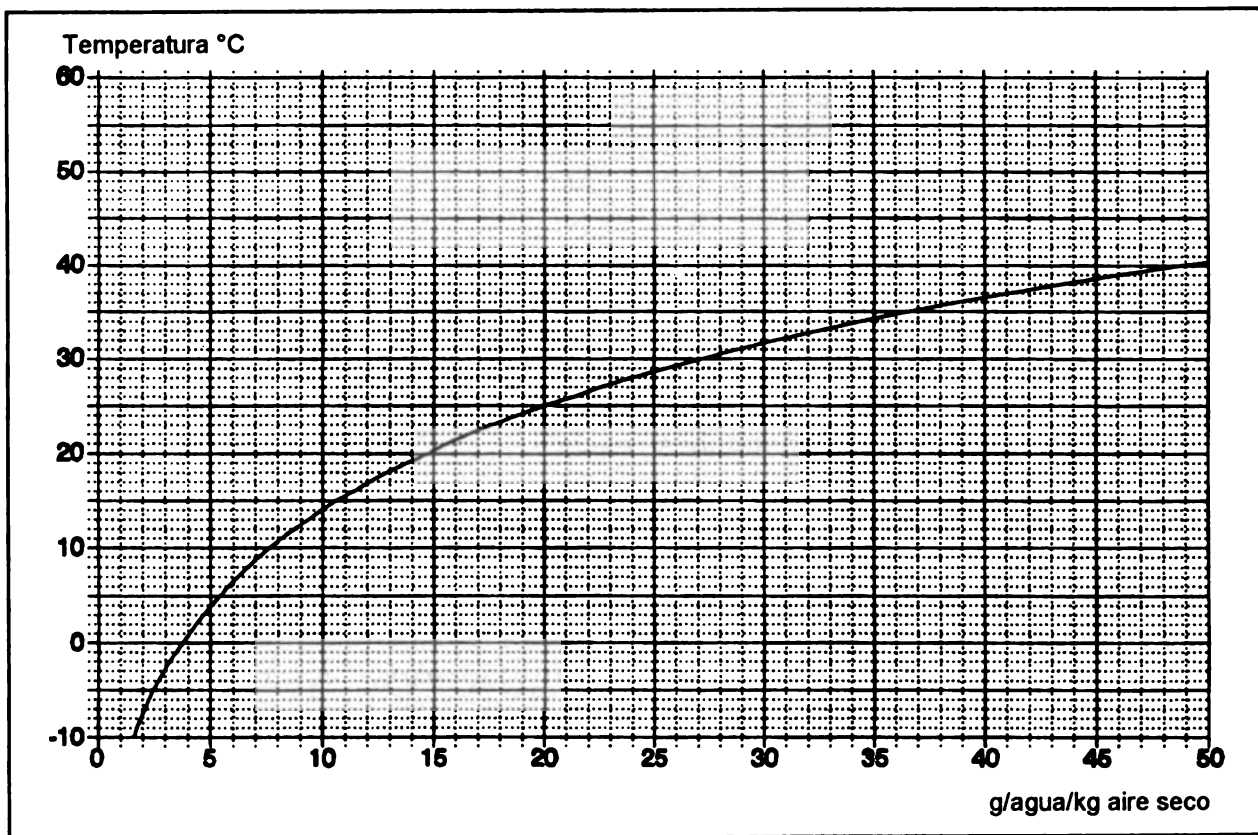


Figura 1. Peso de vapor de agua (por kg de aire seco) en aire saturado a diferentes temperaturas.

Como se puede observar en la Tabla 1 y Figura 1, la cantidad de vapor de agua presente en aire saturado se incrementa drásticamente con la temperatura.

### La humedad relativa del aire

El aire caliente con 20 g de agua/kg de aire seco, se satura y alcanza el punto de rocío cuando la temperatura baja a 25°C. Se dice entonces, que la humedad relativa de este aire es del 100% a 25°C. Si el aire contiene solamente la mitad como vapor de agua, 10 g de agua/kg de aire seco, entonces la humedad relativa es del 50% a 25°C. La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua presente como un porcentaje de la cantidad en el aire saturado a la misma temperatura. O para propósitos de secado:

**La humedad relativa del aire se expresa como la cantidad de vapor de agua presente como un porcentaje de la máxima cantidad de vapor de agua que el aire puede contener a una temperatura dada.**

La humedad relativa puede variar en dos formas: a.- cambiando la cantidad de vapor en el volumen, b.- cambiando la temperatura.

- a.- Si se agrega más vapor de agua al aire, la cantidad total presente en el aire se incrementará y se acercará a la cantidad presente en el aire saturado. Así, la humedad relativa y absoluta se incrementarán.
- b.- Si la temperatura se eleva, una mayor cantidad de vapor de agua puede estar presente antes de que el aire se sature a una mayor temperatura, y la diferencia entre la cantidad real presente y la cantidad presente al momento de saturación se incrementará. Ej: La humedad absoluta se mantendrá igual, pero la humedad relativa bajará si la temperatura se eleva.

La humedad relativa puede ser un término más difícil para trabajar que la humedad absoluta. Pero como se dijo en el capítulo anterior, el equilibrio del contenido de humedad que alcanza la semilla depende de la humedad relativa del aire, es decir, la presión de vapor. La humedad absoluta describe la cantidad de agua presente (en g de agua/kg de aire seco) independiente de la temperatura, pero la humedad relativa describe la presión real de este vapor a una temperatura dada. Por consiguiente, para los propósitos de secado, esto indica si la semilla se secará o absorberá agua de éste aire.

A continuación se da una descripción gráfica de la relación entre la humedad absoluta, temperatura y humedad relativa (diagrama I-X). Posteriormente, se discute la relación entre la humedad relativa y el contenido de humedad de las semillas.

### El diagrama I-X

Cuando las curvas se colocan en la misma forma gráfica de la Figura 1, decreciendo cada 10%, HR, el diagrama tomó la forma de la Figura 2.

El diagrama describe las relaciones entre la temperatura (A), la humedad absoluta (B) y la HR a temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $60^{\circ}\text{C}$ .

- A.- La temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) se muestra en las líneas horizontales desde el eje vertical (y-).
- B.- El contenido de agua en el aire (la humedad absoluta en g de agua/kg de aire seco) se indica en las líneas verticales a partir del eje horizontal (x-).
- C.- La humedad relativa (HR) es representada por las curvas. La curva más baja (HR = 100%) es la combinación temperatura/contenido de agua a la cual el aire es saturado (punto de rocío).

Este tipo de diagrama es una herramienta útil para trabajos de secado, almacenamiento

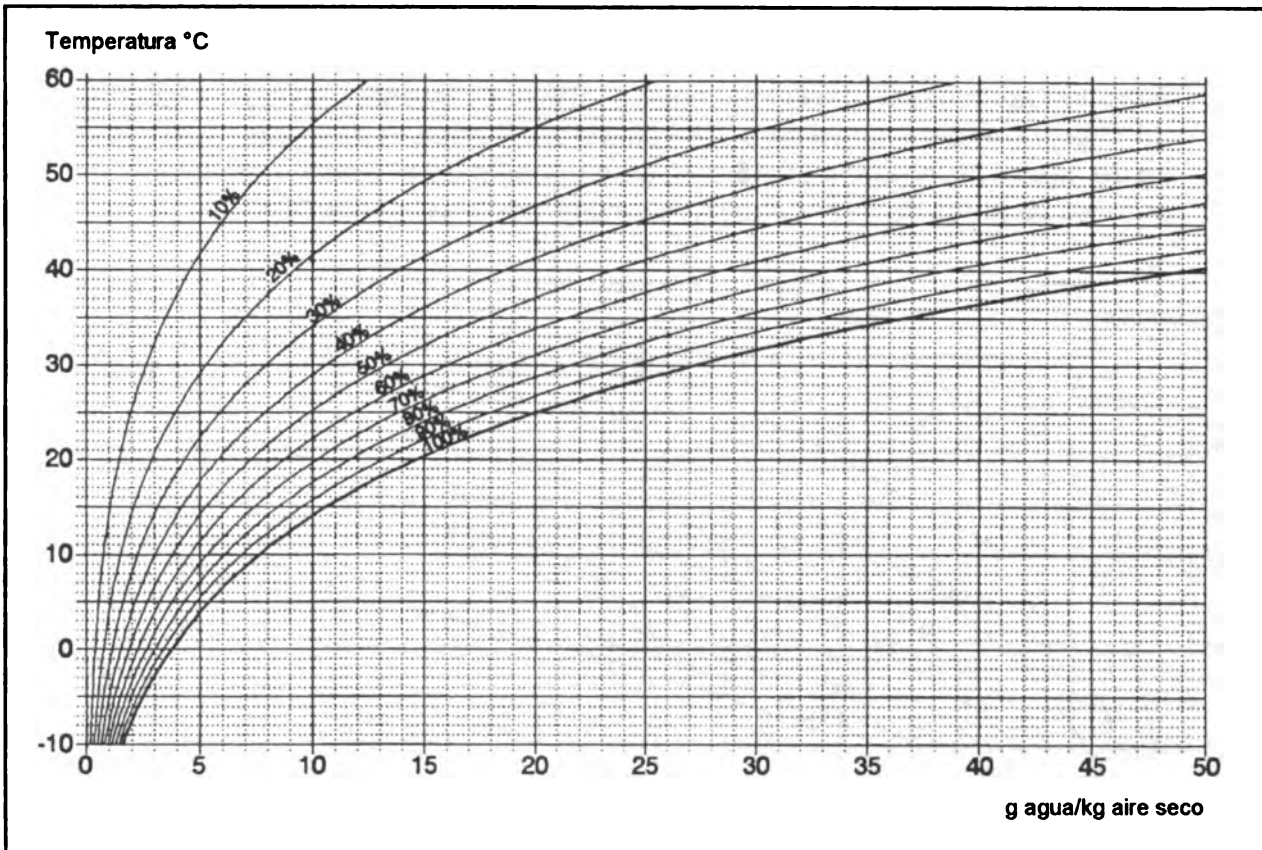


Figura 2. Relación entre la humedad absoluta, temperatura y HR.

y evaluación del contenido de humedad. Para tener una idea sobre qué tan útil es éste diagrama, se presentan los siguientes ejemplos:

**Ejemplo 1:**

En un invernadero con poco o ningún intercambio de aire, a 26°C y 70% de HR, es calentado por el sol hasta 35°C. Los pasos descritos a continuación se muestran en la figura 3 con flechas y números.

- 1.- A 26°C y 70% de HR el contenido de agua en el aire es de 15 g de agua/kg de aire seco.
- 2.- Cuando la temperatura sube, el contenido de agua (la humedad absoluta) se mantendrá igual, pero a medida que el aire puede retener más agua a mayor temperatura, la HR bajará. Si se sigue la línea vertical para 15 g de agua/kg de aire seco hasta que se intercepte con 35°C, el diagrama en la figura muestra que la humedad relativa es 42%.

- 3.- Si se mantiene el aire a 35°C, el 42% de HR podrá ser muy bajo para las plantas en el invernadero. Se supone que se tiene que aplicar irrigación nebulizada para evaporar agua hasta que la HR llegue a 70% nuevamente. La figura muestra que a 35°C la humedad relativa será 70% cuando la humedad absoluta es 25 g de agua/kg de aire seco, entonces  $25 - 15 = 10$  g de agua/kg de aire seco será lo que se tiene que aplicar antes de que el aire haya recuperado una HR del 70%.

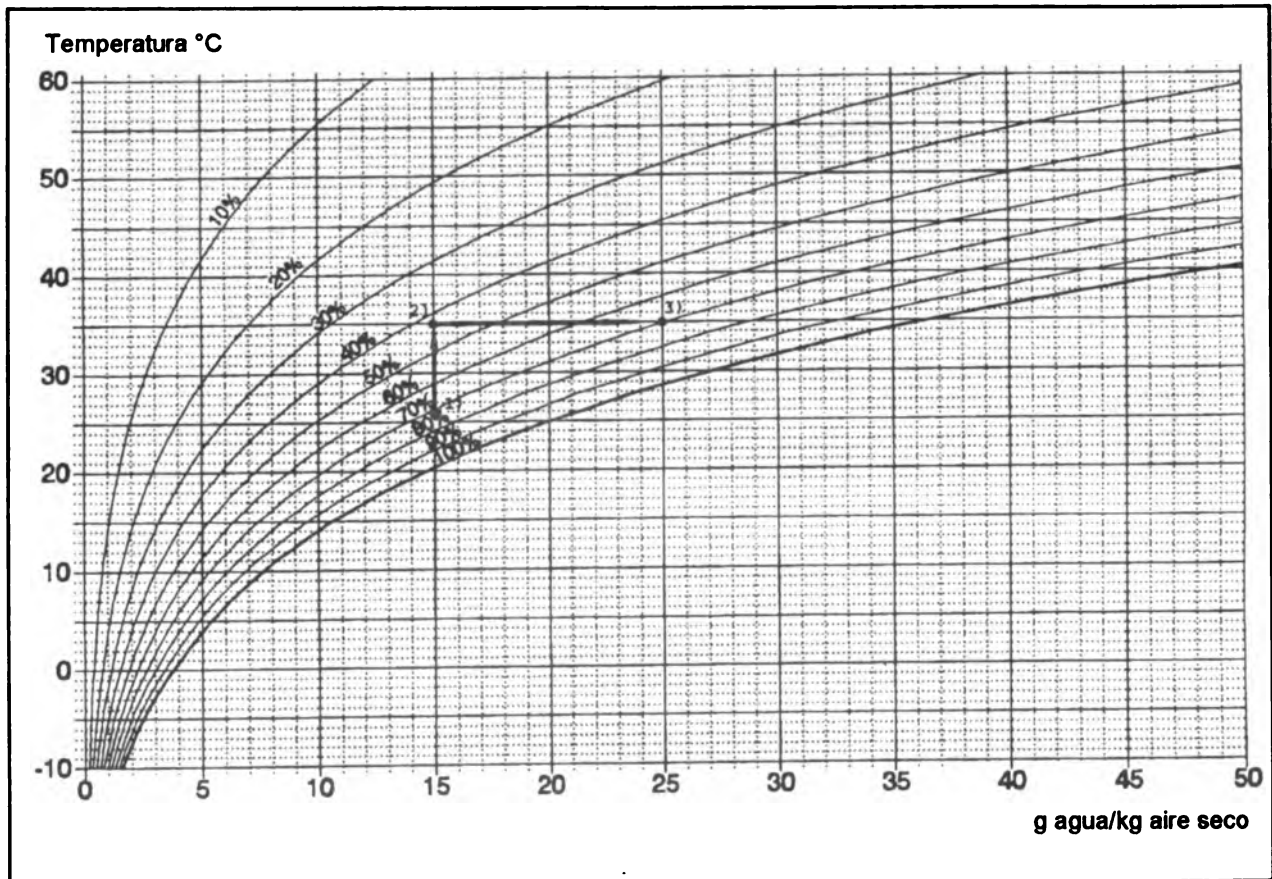


Figura 3. Para mayor explicación ver el ejemplo 1.

En muchos casos el  $m^3$  de aire es un factor más que el kg de aire seco. Como se observa en la Tabla 1, la densidad del aire es aproximadamente  $1.145 \text{ kg/m}^3$  a  $35^\circ\text{C}$ . En este caso,  $10 \text{ g}$  de agua/kg de aire seco equivale a  $10 \text{ g/kg} * 1.145 \text{ kg/m}^3 = 11.5 \text{ g/m}^3$ .

#### Ejemplo 2:

Si la puerta de un cuarto frío se abre a  $4^\circ\text{C}$ , un poco de aire frío pesado (con alta densidad) flotará hacia fuera y otro aire caliente penetrará al cuarto frío. Si el aire de afuera del cuarto es por ejemplo de  $25^\circ\text{C}$  y tiene una HR de 75%, lo siguiente ocurrirá en el cuarto frío al cerrar la puerta y el aire de afuera se enfríe (los pasos se muestran en la Figura 4 con flechas y números):



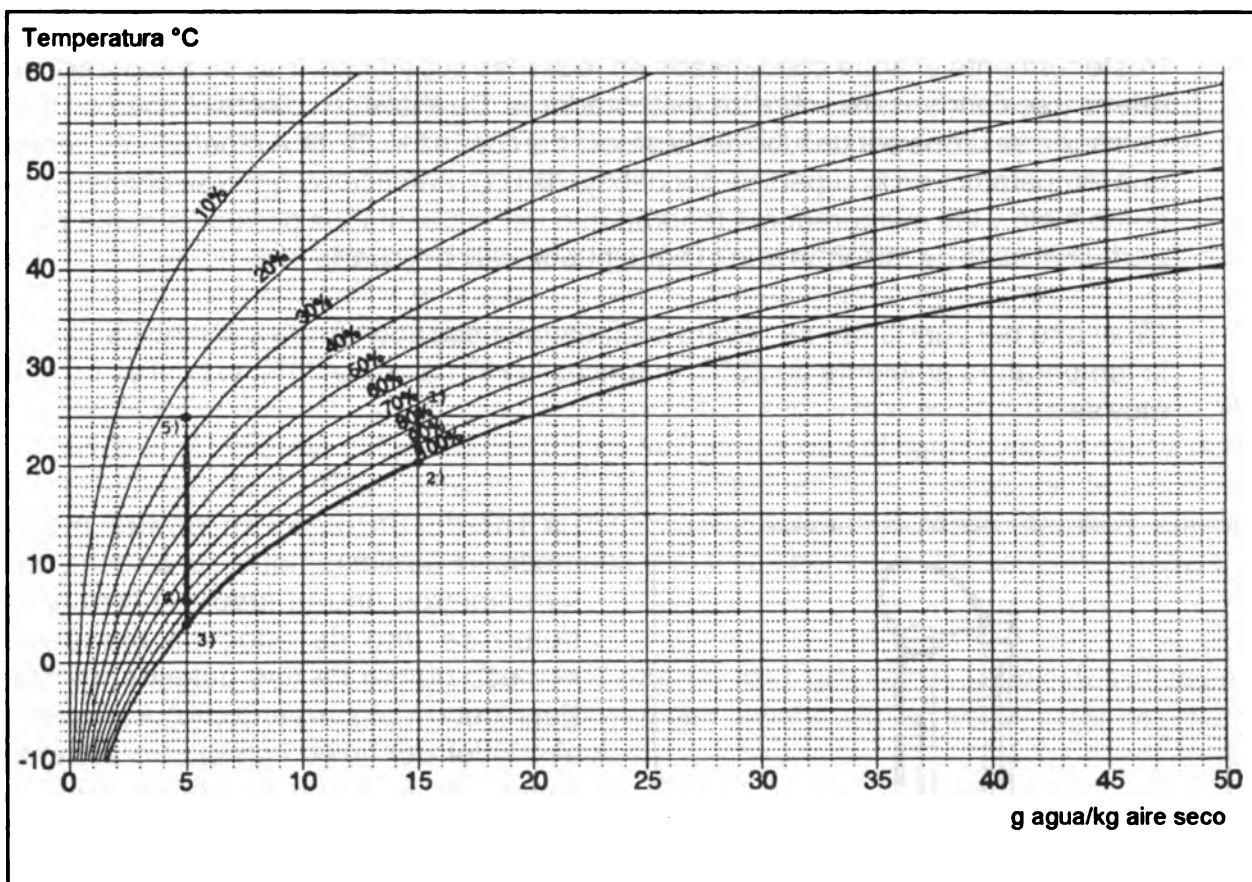


Figura 4. Ver explicación en ejemplo 2.

- 1.- A 25°C y 75% de HR, el aire contiene 15 g de vapor de agua/kg de aire seco.
- 2.- Cuando el aire se enfría, la HR se elevará. Con 15 g de agua/kg de aire seco se alcanzará al punto de rocío (y el 100% HR) a 20°C y el agua empezará a condensarse cuando la temperatura baje a menos de 20°C.
- 3.- A 4°C el vapor es saturado con sólo 5 g de agua/kg de aire seco, lo que significa que  $15-5 = 10$  g de agua/kg de aire seco que ingresó al cuarto se condensará allí.

Inicialmente habrá una condensación sobre todas las superficies frías, de la misma manera que si se sacara una botella del refrigerador. Como el cuarto está constantemente calentándose por los alrededores aún con buen aislamiento, siempre habrá algunos grados de diferencia entre los elementos de enfriamiento (denominados evaporadores porque el fluido de enfriamiento se evapora entre ellos) y las otras áreas del cuarto frío.

- 4.- Si los evaporadores están trabajando a 4°C, la temperatura media en el cuarto es de 6°C. La HR sobre la superficie de los evaporadores es de 100% ya que el agua se

condensa allí, y la HR del aire bajará al 85% por la circulación del aire en el cuarto. Posteriormente el agua condensada en todas las superficies frías se evaporará de nuevo y se condensará sobre los evaporadores. De estos se colecta el agua en una bandeja y se drena por un tubo hacia afuera del cuarto frío. Si los evaporadores tienen una temperatura en la superficie por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ , entonces el agua se condensará como hielo y los evaporadores tendrán que ser recalentados periódicamente para derretir el hielo de tal forma que el agua pueda salir del cuarto frío.

- 5.- (Si el aire del cuarto frío se llevara a un envase cerrado afuera y se recalentara a la temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$ , entonces la HR bajaría a 26%, lo cual es un aire muy seco).

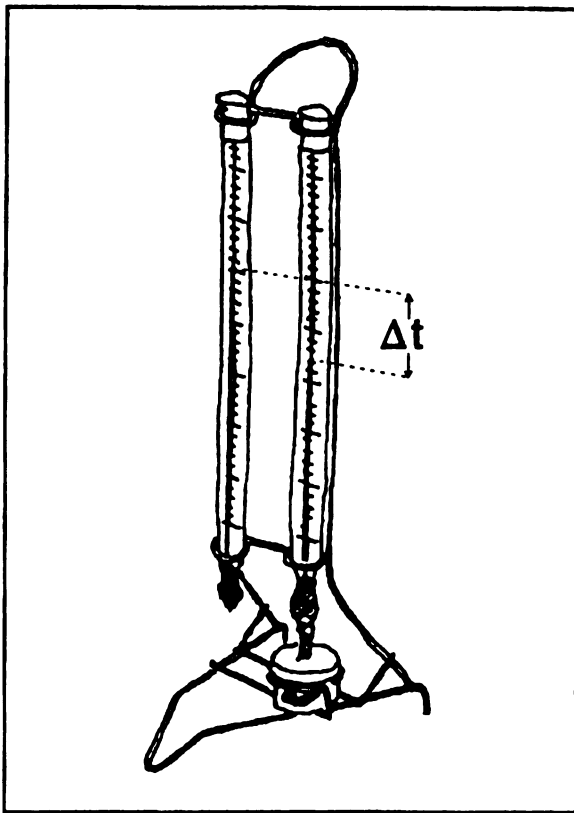


Figura 5. Sincrómetro

La HR de un lugar se puede medir mediante un sincrómetro. Se colocan dos termómetros uno al lado del otro, y el bulbo de uno de ellos se mantiene húmedo dentro de una delgada mecha. Esta debe colocarse como una media alrededor del bulbo con el otro extremo sumergido en agua, de tal forma que la temperatura del agua y aire de la superficie de la mecha se pueda medir. El otro termómetro debe mantenerse seco, y ambos se deben colocar de tal forma que el aire tenga libre acceso.

El agua se evapora del bulbo húmedo hasta que la HR sobre la superficie de la mecha sea de 100%. La evaporación consume energía; puesto que la energía no es suministrada de afuera, la temperatura bajará. Entre más seco se ponga el aire, es decir, entre más baja la HR del aire, más agua se evaporará y por consiguiente más baja la temperatura.

Las líneas pendientes diagonales hacia abajo desde el eje vertical (y-) incluidas en la Figura 6, indican la energía (en kJ/kg de aire) necesaria para calentar el aire y su contenido de humedad desde aire seco a  $0^{\circ}\text{C}$  hasta una temperatura dada y contenido de humedad del aire. Las líneas por consiguiente representan el contenido de energía de la mezcla de aire y vapor de agua a diferentes condiciones de temperatura/humedad. Con estas líneas incluidas, se conoce como un diagrama I-X. Un diagrama I-X completo se muestra en el Anexo 1.

### Ejemplo 3:

Con la ayuda del diagrama I-X es posible encontrar la HR del aire. Por ejemplo, el termómetro seco muestra  $20^{\circ}\text{C}$  y el húmedo  $14.4^{\circ}\text{C}$ . Los siguientes pasos se presentan en la Figura 6 con flechas y números.

- 1.- Observando el diagrama I-X de la Figura 6 en  $14.4^{\circ}\text{C}$ , HR y 100% HR, siguiendo la línea diagonal indica el mismo contenido de energía, hasta que se intercepta con  $20^{\circ}\text{C}$ , la figura muestra una HR de 55%.

Las mediciones de la HR con el bulbo de termómetros seco y húmedo (un sincrómetro) sólo es válido si el volumen del aire ambiente es tan grande que el agua evaporada del bulbo húmedo no afecta significativamente la HR. El aire también tiene que circular de tal manera que el aire húmedo alrededor del bulbo húmedo se intercambie constantemente con aire seco para que el agua continúe evaporándose del bulbo húmedo. Una corriente ligera ( $1\text{ m/seg}$ ) es suficiente.

Existen alternativas para medir la humedad relativa: los higrómetros de pelo descritos en el ejemplo 6, e higrómetros basados en propiedades de intercambio eléctrico generalmente con procesos electrónicos y tableros digitales.

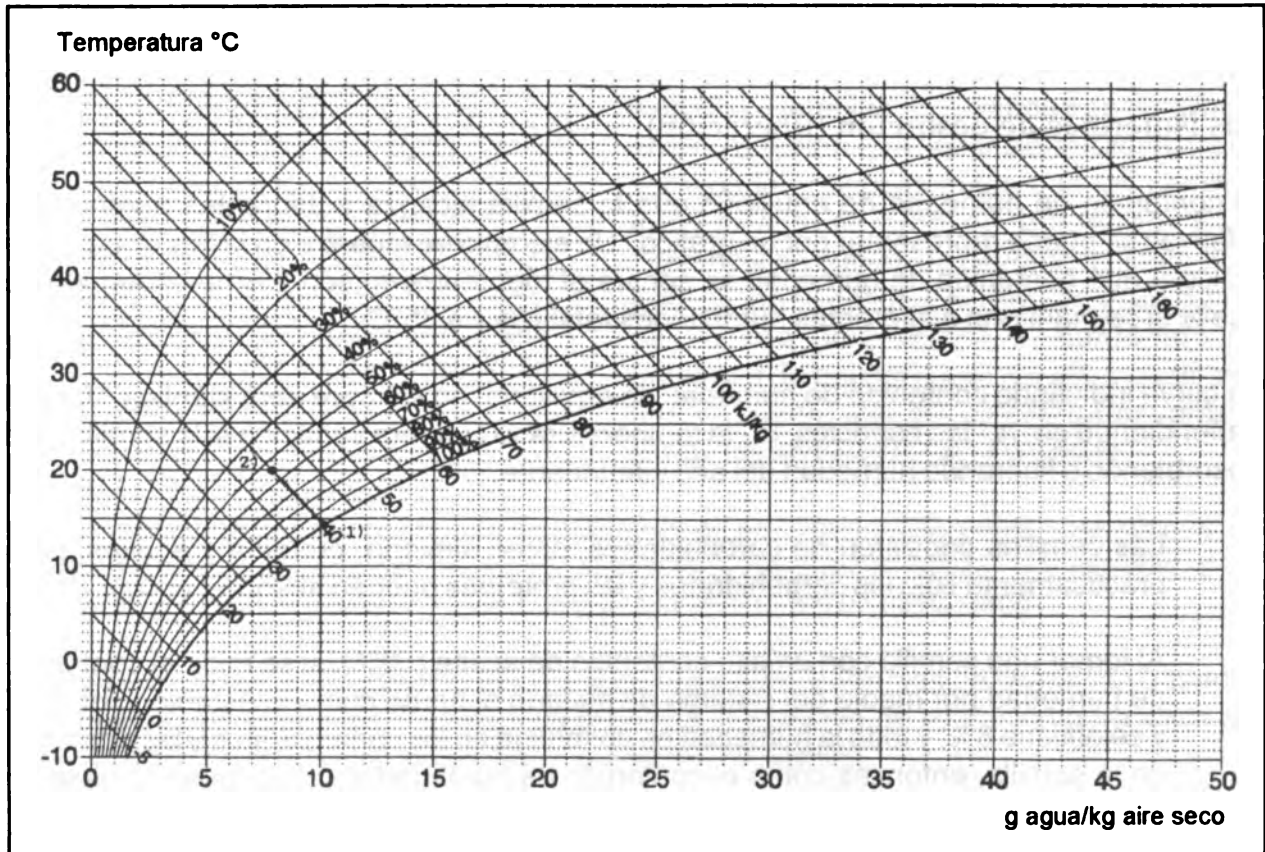


Figura 6. (Ver el ejemplo 3 para la explicación).

## **LA RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA SEMILLA Y LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE**

### **Contenido de la humedad de equilibrio de la semilla**

La semilla, madera y muchos otros materiales contienen agua. Se pueden secar y humedecer de nuevo. Esto es, los materiales absorben y liberan (secado) agua.

**La semilla se secará o absorberá agua hasta lograr el contenido de humedad de equilibrio con la HR del aire circundante. Esta HR, en donde el contenido de humedad de la semilla es estable, se llama humedad relativa de equilibrio.**

#### **Ejemplo 4:**

Dos muestras de semilla del mismo lote colocadas a 30°C, y 20% de HR y a 40°C y 20% de HR respectivamente, se secarán hasta aproximadamente el mismo contenido de humedad. La única diferencia es que la muestra a 40°C se secará más rápido debido a la mayor temperatura.

### **Las isotermas de desorción (liberación)**

El contenido de humedad de equilibrio que la semilla alcanza a diferentes humedades relativas se puede representar por un gráfico. Un ejemplo se muestra en la Fig. 7. La curva indica a qué contenido de humedad se secará el trigo húmedo con 2% de contenido de aceite si se mantiene a diferentes humedades relativas y a 35°C.

La curva indicando contenido de humedad de equilibrio, no siempre será idéntica. Variará dependiendo de: A.- las especies, B.- la temperatura y C.- ligera variación si la semilla está absorbiendo o liberando humedad del aire circundante:

A.- Las semillas consisten de carbohidratos, como almidón, proteína y aceites, pero prácticamente sólo los carbohidratos y las proteínas pueden absorber agua.

Al tomar una semilla con un alto contenido de aceite (50%), si se mide el contenido de humedad por medio del sistema de secado al horno como lo establece el ISTA y se obtiene 8%, y toda la humedad es absorbida en los carbohidratos y las proteínas de la semilla, entonces como el contenido de humedad se mide sobre la base de del peso de la semilla, el contenido de humedad real de los carbohidratos y proteínas es de 16% y representan la mitad del peso de la semilla.

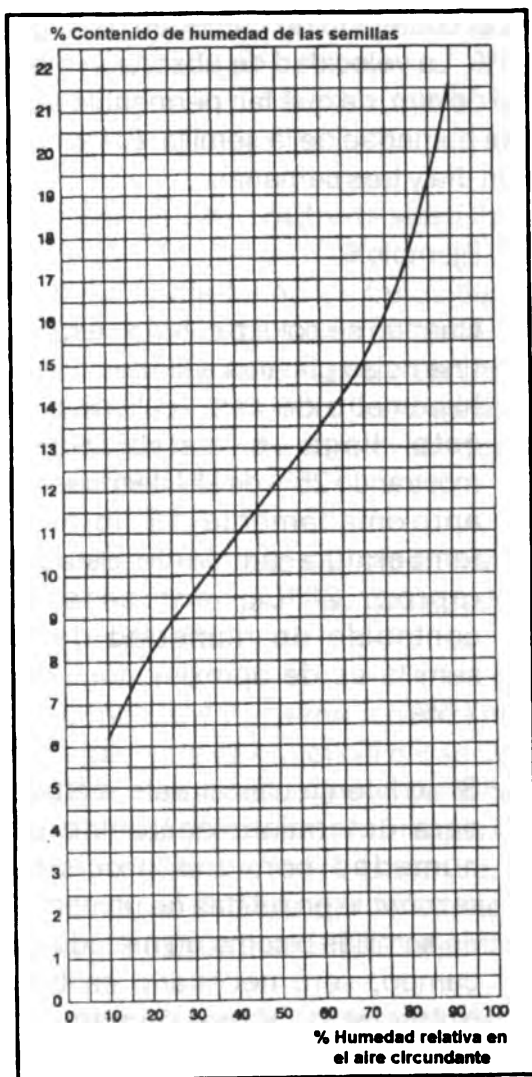


Figura 7. Contenido de humedad de equilibrio de trigo con 2% de contenido de aceite a 35°C.

Cuando los carbohidratos y las proteínas de la misma semilla son secados hasta alcanzar el equilibrio al 8% de contenido de humedad, una prueba de contenido de humedad al horno mostrará 4% de contenido de humedad de toda la semilla.

La curva que indica el contenido de humedad de equilibrio de las semillas con alto contenido de aceite será por consiguiente, menor que la curva para una semilla con poco contenido de aceite.

B.- Un incremento de la temperatura aumentará la velocidad de vibración de las moléculas de agua. Estarán más propensas a evaporarse y la semilla estará en equilibrio a un menor contenido de humedad. En la práctica, las curvas tendrán aproximadamente 1% menos de contenido de humedad por cada 10°C de incremento de temperatura.

C.- Si se eleva la HR alrededor de la semilla que está con contenido de humedad en equilibrio, entonces tendrá que haber cierta diferencia en humedades relativas antes que las semillas inicien la absorción de humedad. Esta diferencia en curvas de desorción (liberación) y absorción se denomina histéresis. Para curvas de secado (liberación), el contenido de humedad de equilibrio son 1 a 2% más altas a una HR dada, que las curvas de absorción, donde las semillas toman humedad.

Estas curvas que indican contenido de humedad de equilibrio a diferentes condiciones, se conocen como isotermas de desorción (liberación). Se pueden utilizar por ejemplo, para estimar a qué contenido de humedad se pueden secar bajo un clima dado.

En el Anexo 2 y en los siguientes ejemplos se presentan isotermas de liberación basados en datos de varias fuentes. También se presenta la isoterma de liberación para sílica gel que se utiliza para desecar pequeñas cantidades de semilla.

Ejemplo 5:

Cuando se coloca el trigo húmedo a 35°C y 40% de HR, y el aire es constantemente renovado

de tal forma que la HR se mantenga en 40%, entonces el contenido de humedad del trigo bajará a un contenido de humedad de equilibrio del 9.8%. La velocidad de absorción o de liberación depende de la temperatura, velocidad del flujo de aire, de qué tan permeable sea la testa de la semilla, de la HR del aire y del contenido de humedad de la semilla. El tiempo requerido para alcanzar el equilibrio puede estar entre un día y tres semanas.

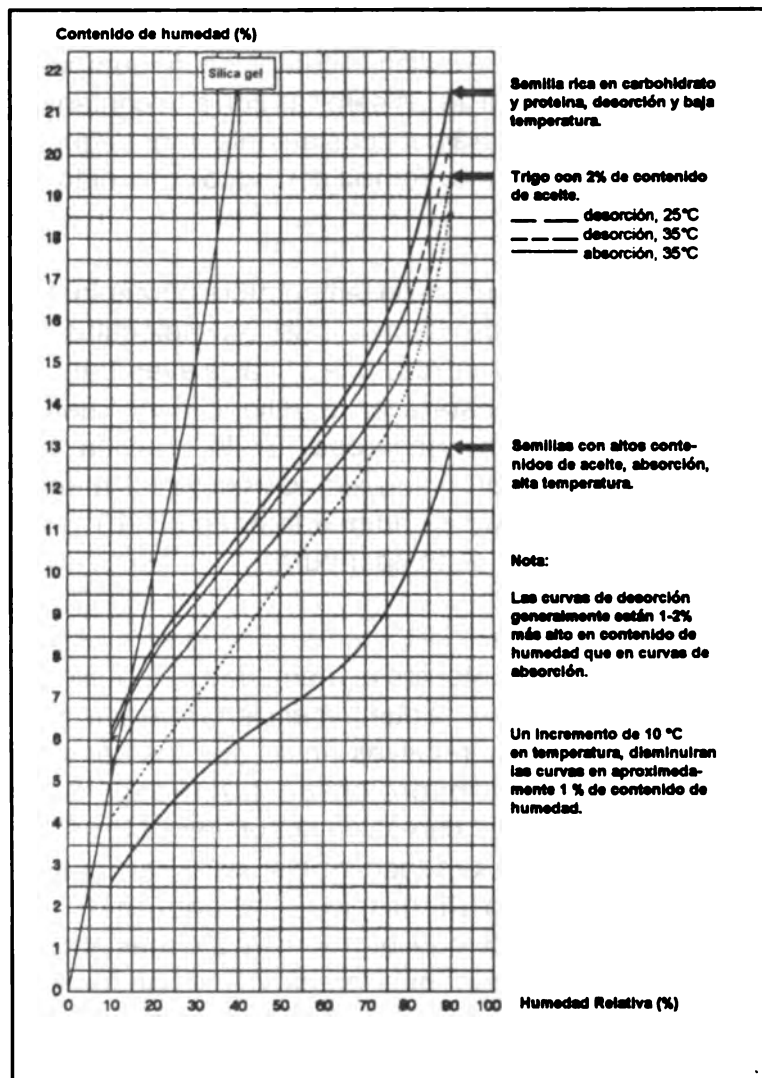


Figura 8. Isotermas de desorción (liberación).  
Contenido de humedad (%) en equilibrio con la humedad relativa (extracto de Roberts 1972).

#### Ejemplo 6:

Cuando se coloca el trigo seco en una bolsa plástica sellada con un higrómetro de pelo<sup>2</sup> calibrado, y éste llega a estabilizarse mostrando 25% de HR después de aproximadamente 15 horas a temperatura ambiente estable (aprox. 20°C), entonces el contenido de humedad de la semilla es de aproximadamente 7.5%.

Si se intenta utilizar este método para determinar contenido de humedad con una precisión razonable en rutinas de un centro de semillas o como un método de campo, será necesario calibrar isotermas de liberación para las especies comúnmente utilizadas. Esto se hace midiendo el contenido de humedad de las semillas en equilibrio con las humedades relativas conocidas. La medición del contenido de humedad por el método de horno y calibración del ISTA, lo describe Poulsen (1994) y Bonner (1985).

**2 Higrómetro de pelo:** un pelo de humano o de caballo se contrae cuando se seca. Un extremo del pelo es conectado a un punto fijo del instrumento y el otro extremo a una aguja en la escala indicando la humedad relativa.

Para calibrar el pelo del higrómetro se coloca sobre una tela húmeda a la sombra por una hora. El aparato es ajustado a aproximadamente 95% de humedad relativa. Se chequea nuevamente que el higrómetro permanezca a 95% de humedad relativa bajo la tela húmeda.

El aire contiene pequeñas partículas de aceite. Estas se adhieren al pelo en el higrómetro y evita que el pelo absorba humedad. Dependiendo de las condiciones de trabajo, el aparato debe limpiarse con gasolina cada mes o seis meses. Agitar el higrómetro en un recipiente con gasolina. No permita que la gasolina entre en contacto con la piel.

## SECADO DE SEMILLAS

### Principios de secado de semillas

Generalmente todos los frutos tienen un contenido de humedad variable pero alto en el momento de madurez completa. Bajo condiciones normales, las especies ortodoxas madurarán durante la estación seca permitiendo que el clima local seque los frutos y las semillas. Por otro lado, las especies nativas recalcitrantes usualmente maduran durante la estación húmeda para evitar que la semilla se seque y permitirle que germine antes de la estación seca.

Ejemplos de secado de semillas se darán posteriormente. No existe diferencia entre frutos y semillas en el proceso de secado, a excepción de que los frutos son más voluminosos que la semilla.

La condición de almacenamiento de semillas ortodoxas completamente maduras generalmente se beneficia del secado hasta el 6-8% de contenido de humedad. Esto es en muchos casos menor que el contenido de humedad que la semilla alcanzaría naturalmente. Para alcanzar este bajo contenido de humedad se tiene que crear una HR suficientemente baja en el aire que rodea la semilla. Cuando la humedad que se evapora de la semilla eleva la humedad relativa del ambiente, el aire tiene que ser renovado por uno nuevo con suficientemente baja HR, por ejemplo el viento.

**La velocidad de secado está determinada principalmente por: A.- la velocidad con que la humedad puede migrar a la superficie de la semilla por evaporación, B.- la velocidad del aire circundante de la semilla, C.- la temperatura y D.- la humedad relativa.**

A.- La velocidad con que la humedad puede migrar a la superficie de la semilla por evaporación: en la práctica la densidad y el grosor de la testa de la semilla determina generalmente que tan rápido la humedad puede migrar hacia la superficie de la semilla.

Por otro lado, si la testa de la semilla es porosa y si la superficie de las semillas se secan más rápido que la migración de la humedad a través de la semilla, las capas externas de la semilla pueden secarse y probablemente colapsar no dejando salir la humedad de la parte interna de la semilla. Esto impedirá mayor secado y puede ser riesgoso para la viabilidad. Los frutos inmaduros, por ejemplo, conos verdes que no se han tornado suficientemente de color marrón, pueden impedir el secado por "endurecimiento cerrado" de las capas externas. En estos casos la única opción es rehidratar las semillas o frutos, permitirles que completen el proceso de maduración y reparar los daños causados por el colapso del tejido en un ambiente frío y repetir el proceso de secado a una tasa menor.

- B.- Velocidad del viento:** cuando se duplica la velocidad del aire que circunda la semilla, el tiempo de secado se reduce a aproximadamente la mitad. Los límites superiores son: la velocidad de los ventiladores disponibles (o la velocidad natural del viento), límites prácticos para saber qué tan delgada es la testa de la semilla y el punto en que el viento empieza a mover la semilla.
- C.- Temperatura:** un incremento en la temperatura acelera el proceso de secado a una humedad relativa dada. El agua se evapora más fácilmente a alta temperatura: un incremento de 10°C duplica la velocidad. Adicionalmente, subiendo la temperatura del aire de secado también disminuye la humedad relativa. La mayoría de los procesos de secado usan altas temperaturas para lograr una baja humedad relativa, lo cual igualmente acelera el proceso de secado.

La temperatura máxima que las semillas tolerarán depende de las especies y de qué tan secas estén. Hasta tanto no se hayan establecido las temperaturas específicas para las especies, la temperatura segura de secado para la mayoría de las especies ortodoxas es de 35°C hasta que el contenido de humedad sea menor del 15%. Por debajo de éste contenido de humedad, la temperatura se puede subir a 45%.

Algunas temperaturas típicas para un secado seguro de especies agrícolas según (Roberts, 1972) son: los cereales como avena y trigo pueden tolerar 45°C a un contenido de humedad del 30%, y subir hasta 65°C a un contenido de humedad de 18%. Para arbejas y el trébol tolera solamente 28°C por encima del 20% de contenido de humedad y 38°C desde 12 a 20% de contenido de humedad. (Se debe anotar que algunas especies aparentemente tienen curvas inversas a lo normal, por ejemplo, el arroz tolera 60°C por encima de 20% de contenido de humedad, 52°C entre 15 y 20% de contenido de humedad y 50°C por debajo del 15% de contenido de humedad).

La temperatura del aire que las semillas pueden tolerar depende de la tasa de secado, ya que la evaporación enfría la semilla y si el suministro de energía se mantiene constante, la temperatura de las semillas mismas será menor que la temperatura del aire.

En este contexto, se debe notar que una alta temperatura también incrementa la respiración y el proceso de envejecimiento. Esto implica que el período en que la semilla está sometida a alta temperatura, debe ser lo más corto posible; por ejemplo, la HR debe mantenerse lo más baja posible asegurándole suficiente ventilación.

- D.- La diferencia entre humedad relativa de equilibrio y la HR:** la humedad relativa del aire debe mantenerse durante todo el proceso más baja que la humedad relativa de equilibrio correspondiente al contenido de humedad de las semillas. La humedad relativa de equilibrio puede determinarse por las isotermas de liberación (figura 8 y Anexo 2).



La velocidad de secado será alta si la humedad relativa del aire de secado es baja en comparación con la humedad relativa de equilibrio, ya que cada unidad de aire puede extraer más agua. Si se mantiene la misma humedad relativa y temperatura durante el proceso de secado, la velocidad de secado disminuirá ya que el contenido de humedad de la semillas se reduce.

#### Ejemplo 7:

Semilla de trigo se secará hasta un 6% de contenido de humedad en un clima como el de Morogoro, Tanzania: se supone que la temperatura segura de secado no se conoce y que se tendrá que utilizar 35°C mientras la semilla tenga más de 15% de contenido de humedad y 45°C cuando tenga menos de 15% de contenido de humedad.

El primer paso es disminuir el contenido de humedad a menos del 15% sin exceder los 35°C. De las isotermas de liberación (Fig. 8 o Anexo 2) se deduce que la HR de equilibrio para 15% de contenido de humedad y a una liberación a 35°C es de 80% de HR.

Información climática para el secado en el sitio se muestra en la Tabla II.

Los siguientes pasos son mostrados en la Fig. 9 con flechas y números:

- 1.- En Morogoro la temperatura del punto de rocío está entre 22 y 16°C, lo que significa que el contenido de vapor de agua está entre 16.5 g
- 2.- y 11.5 g/kg de aire seco,
- 3.- y que la HR a 35°C está entre 32%
- 4.- y 47%.

Como éstas humedades relativas están por debajo de la humedad relativa de equilibrio requerida del 80%, será posible traer el contenido de humedad de la semilla hasta 15% con sólo buena ventilación.

- 5.- En la época seca, la temperatura de secado puede de inmediato bajar a 20°C mientras
- 6.- que en la estación húmeda puede bajar a 25.5°C. Cuando se permite bajar mas la temperatura de secado (por ejemplo durante la noche), la humedad relativa subirá por encima del 80% y la semilla volverá a absorber humedad nuevamente.

El segundo paso es bajar el contenido de humedad al 6% sin sobrepasar los 45°C. Aquí nuevamente los isotermas de liberación reflejan que la humedad relativa de equilibrio al 6% de contenido de humedad y a 45°C es de 15% de humedad relativa en liberación.

- 7.- En el diagrama I-X se encuentra que el aire a 45°C con 15% de humedad relativa tiene el punto de rocío a 12.5°C y contiene 9 g de agua/kg de aire seco.

8.- Como el contenido de vapor de agua en Morogoro está entre 11.5 y 16.5 g/kg de aire seco, el diagrama muestra que la humedad relativa de 15% se puede alcanzar elevando la temperatura sobre 50°C.

**Tabla II. Información climática para Morogoro, Tanzania.**  
 Latitud 06°51'S, longitud 37°40'E, elevación 579 m

Mes	Temperatura (°C)			Punto de rocío		Precipitación				Viento			Promedios				
	Promedio		Extremo	09h		15h		prom.	máx.	mín.	días	max.	Velocidad prevaleciente		calma (%)	nubosidad (octavos)	Sol (h)
	max.	min.	max.	min.	09h	15h	(mm)	(mm)	(mm)	>0.1	24h	Prom. (nudos) 06h	12h	direc.			
Enero	32	21	36	17	21	20	94	301	4	10	63	2	4	19	5	117	
Febrero	32	21	37	17	21	21	104	261	2	9	100	2	4	17	6	165	
Marzo	31	21	36	17	22	21	167	500	34	13	93	1	4	26	6	183	
Abril	30	20	35	17	22	22	208	386	98	21	64	1	2	35	6	129	
Mayo	28	19	32	14	20	20	96	402	26	15	40	1	2	40	6	121	
Junio	27	16	31	11	18	18	27	143	1	6	23	1	2	36	5	129	
Julio	27	15	31	10	17	16	15	119	0	4	38	1	4	25	5	127	
Agosto	28	16	33	9	17	16	10	66	0	5	34	2	5	20	5	130	
setiembre	30	17	33	13	18	16	17	102	0	4	62	1	5	10	5	141	
Octubre	31	18	35	14	18	17	27	168	1	5	34	1	6	8	5	177	
Noviembre	32	19	36	16	20	19	54	238	0	8	75	3	6	13	5	186	
Diciembre	32	21	36	16	21	20	73	229	5	10	77	4	5	7	5	180	
Anual	30	19	37	9	20	19	892	1536	564	110	100	2	4	21	5	1845	
<b>Años de registros</b>	15	15	15	15	15	15	57	57	57	57	57	14	14	14	14	16	

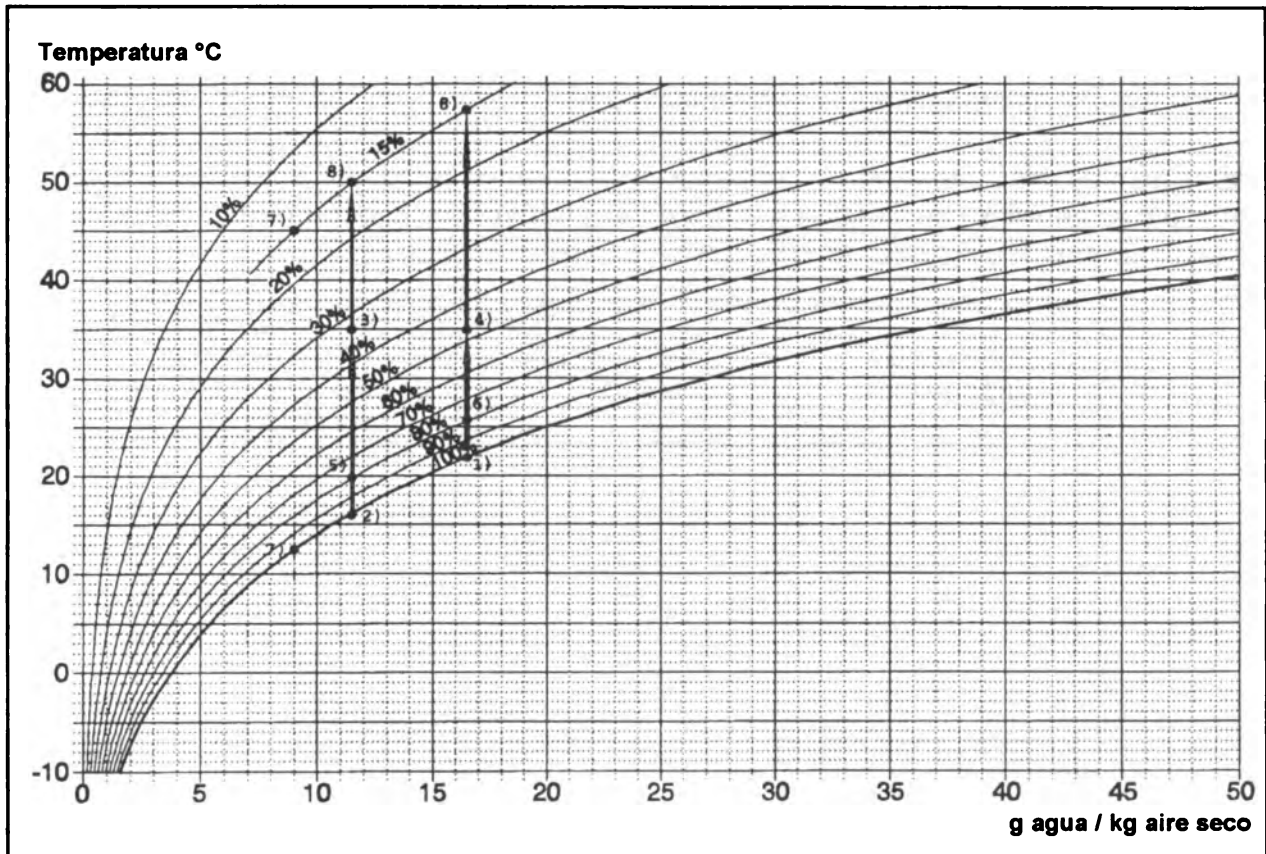


Figura 9. Ver ejemplo 7 para la explicación.

Como la temperatura segura de secado es de 45°C, quedan tres opciones:

- 1.- El aire de secado puede ser presecado artificialmente en un espacio cerrado. Puede ser enfriado a menos de 12.5°C, por lo que alguna cantidad de agua se condensará y puede ser retirada, y luego éste aire más seco, recalentarlo hasta que se alcance a 15% de HR, o desecar el aire con desecantes químicos.
- 2.- Si una temperatura mayor se considera segura cuando la semilla está muy seca, pueden tomarse los siguientes pasos presumiendo que es octubre y que la temperatura del punto de rocío en Morogoro es de 18°C. El calentar el aire de secado a 45°C, reducirá la HR a 22% y la semilla eventualmente alcanzará un contenido de humedad de equilibrio de 6.9%. Una vez hecho esto, es necesario elevar la temperatura de secado hasta alcanzar un 15% de HR. Pregunta: a qué temperatura se alcanzará 15% de HR?
- 3.- La temperatura necesaria para alcanzar 15% de HR depende de la temperatura del punto de rocío (la temperatura del punto de rocío puede ser medida en un termómetro con el bulbo húmedo bien ventilado bajo sombra, ver ejemplo 3). Si esta temperatura

es considerada muy alta para ser segura, y el equipo de presecado no está disponible, se tendrá que aceptar un contenido de humedad más alto de la semilla bajo almacenamiento, en este caso 6.9%.

Las siguientes relaciones entre la temperatura del punto de rocío y el contenido de humedad obtenible en semillas con aire de secado a 45°C, pueden ser encontradas por extrapolación en el diagrama I-X y las isotermas de liberación en los Anexos 2 y 3.

Temperatura punto de rocío	Humedad relativa a 45°C	Contenido de humedad de trigo a 45°C, de liberación
12	14	5.9
14	17	6.2
16	19	6.5
18	22	6.9
20	25	7.2
22	27	7.5
24	31	8.0
26	35	8.4

La información climática mostrada para Morogoro, Tanzania, puede ser obtenida de los institutos meteorológicos locales.

Es importante que la semilla esté suficientemente seca antes del almacenamiento. Un lote de semilla se almacena con demasiado contenido de humedad. La reducción en viabilidad (y pérdida del valor total) cuando la semilla es almacenada con alto contenido de humedad, puede ser comparada con el costo de secado más una pequeña disminución en viabilidad cuando la semilla es almacenada con menor contenido de humedad.

Ejemplo:

Costo de 1 kg de semilla con contenido de humedad del 10%	\$300
Costo de secado adicional para 6% contenido de humedad	\$20

Si se almacena por 1.5 años a 10% de contenido de humedad, puede haber una reducción del 100 al 70% de germinación, entonces una pérdida de $30/100 * \$300 =$	\$90
--	------

Si se almacena por 1.5 años a 6% de contenido de humedad, puede haber una reducción del 100 al 95% de germinación, entonces, una pérdida $5/100 * \$300 + \$20$ por secado adic.=	\$35
---	------

El tiempo necesario para el secado puede ser estimado por experiencia local, pero son necesarias pruebas de rutina de contenido de humedad antes del almacenamiento.

## Secado bajo la sombra

Puede ser ventajoso bajo algunas circunstancias:

Las elevadas temperaturas al sol pueden dañar la semilla con alto contenido de humedad.

La semilla no se puede posmadurar y curar daños mecánicos una vez que el contenido de humedad sea menor de 15-20%.

Si la semilla no está bien madura, un proceso lento de secado permite que la semilla complete su maduración y esté lista para almacenamiento y germinación.

Debe haber una ventilación adecuada ya que la alta humedad relativa fomenta el ataque de hongos e insectos. Pasillos cubiertos y bien ventilados o cobertizos abiertos en donde la lluvia no penetre, son utilizados para el secado de semillas o frutos en sacos de yute, por ejemplo, para la postmaduración de conos de pinos.

Un arreglo más sofisticado para el secado bajo sombra, consiste en un cuarto bien ventilado y estantería con bandejas con fondo de malla de alambre. Los frutos se esparcen en una capa delgada sobre las bandejas y se revuelven regularmente. Este arreglo es útil para semillas de especies que pueden ser fácilmente dañadas por el calor del sol o del horno, y para especies que deben ser almacenadas a un relativamente alto contenido de humedad para mantener su viabilidad.

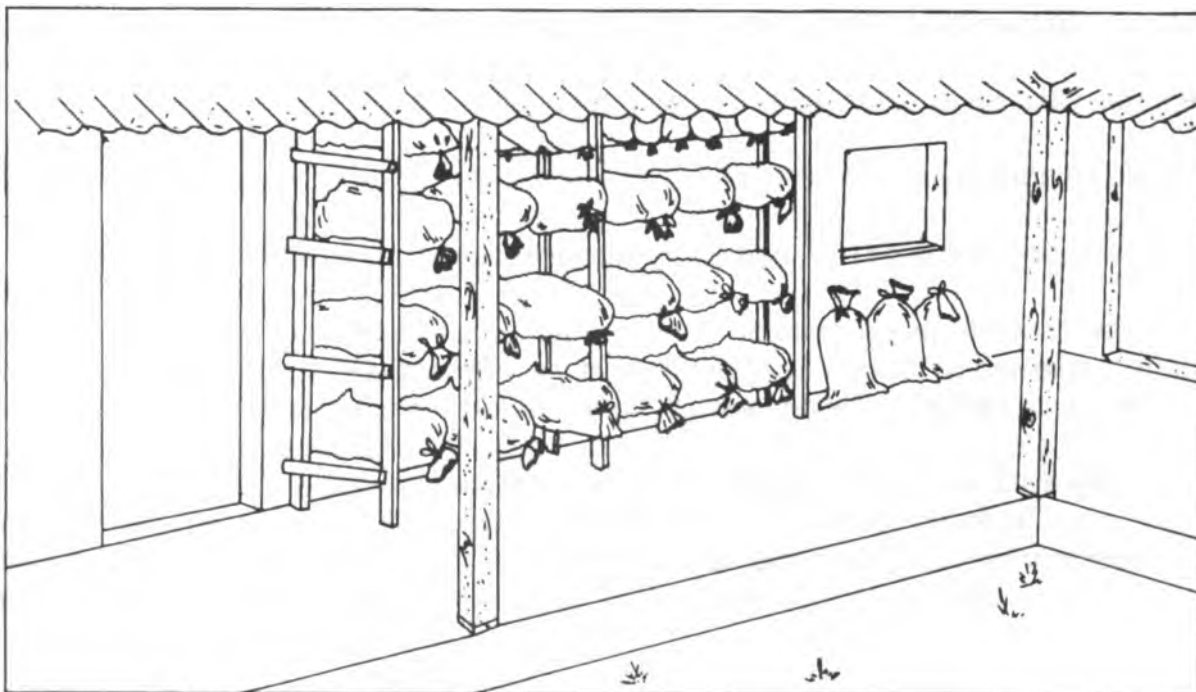


Figura 10. Conos en sacos de yute en un pasadizo cubierto

## **Secado con el sol**

El sol eleva la temperatura y por consiguiente baja la humedad relativa del aire alrededor de la semilla. Es necesario asegurar un flujo de aire adecuado alrededor de la semilla, ya que su capacidad para transportar humedad es limitada.

El contenido de humedad de la semilla se estabilizará a un contenido de humedad de equilibrio que corresponde a un valor localizado entre la humedad relativa alrededor de la semilla entre el día y la noche.

### **Ejemplo 8:**

Un lote de semillas recibe sol directo por 4 horas al día elevando la temperatura a 40°C; la temperatura promedio de la semilla por el resto del día y la noche es de 22 °C y la temperatura del punto de rocío es 18°C.

La humedad relativa a pleno sol es de 28% y el promedio por el resto del día y la noche es de aproximadamente 78% (diagrama I-X: el punto de rocío a 18°C, eleva la temperatura a 40°C y 22°C).

La semilla no bajará al contenido de humedad de equilibrio correspondiente a 28% de HR durante las 4 horas de sol y seguramente absorberá nuevamente humedad durante la noche.

El contenido de humedad al final estará entre el contenido de humedad de equilibrio correspondiente al 28% y 78% de humedad relativa, dependiendo de qué tan buena sea la ventilación durante las horas de alta temperatura y que tan efectivamente se suspende la ventilación, durante las horas de baja temperatura una vez que la semilla haya llegado a un contenido de humedad menor que el contenido de humedad de equilibrio a 78% de HR.

**Pregunta:** Cuál es el contenido de humedad de equilibrio a 28% y 78% de HR?

Lo esencial para el secado al sol es:

- 1.- Asegurar la mayor cantidad de horas posible en el sol (evitando sombra).
- 2.- Para permitir libre acceso de viento a una delgada capa de semilla (si es necesario, levante una barrera cortavientos para evitar que la semilla se vuele en los días ventosos en vez de tener un área de secado ineficiente en días calmados).
- 3.- Para evitar que la semilla absorba humedad durante la noche o cuando la HR es alta, por ejemplo, se cubre con una lona contra el rocío, lluvia ó flujo de aire húmedo, y almacenar bajo cubierta o en envases herméticos, cuando el contenido de humedad de la semilla sea tan bajo que la absorción no se pueda evitar durante las horas sin sol.

- 4.- Para evitar el sobrecalentamiento cuando la semilla todavía tiene un contenido de humedad alto. Si está por encima de 15 a 20%, inicie el secado a la sombra y traslade la semilla al sol cuando el contenido de humedad esté por debajo de 15%. La alta temperatura y el contenido de humedad juntos aceleran la respiración y causan estrés a la semilla, (vea también 5.1).
- 5.- Retirar cualquier semilla que se ha separado de los frutos para evitar exposición innecesaria a altas temperaturas durante la extracción.

En el trópico casi toda la semilla se seca al sol en canastos o bandejas delgadas, o en mesas de concreto o lonas. Este método de secado es el más conveniente y más económico bajo la mayoría de las condiciones.

La temperatura alcanzada durante el secado al sol dependerá de muchos factores y varía día a día y durante el día. La temperatura se puede monitorear colocando un termómetro bajo la superficie de las semillas, de tal forma que el sol no llegue al bulbo.

Durante la estación seca la mayoría de las semillas secadas al sol pueden alcanzar un contenido de humedad de aproximadamente 8%. Este contenido de humedad en la mayoría de los casos, es suficientemente bajo para almacenamiento a corto plazo (1 a 3 años) a temperatura ambiente, y también suficiente para almacenamiento a mediano plazo (5-10 años) por debajo de 5°C.

### **Secado bajo cubierta transparente**

El secado forzado bajo cubierta transparente generalmente se realiza en bandejas o zarandas o marcos de concreto con una cubierta transparente de polietileno.

Los rayos solares de alta frecuencia pueden pasar a través de materiales transparentes como el polietileno o vidrio, pero cuando alcanzan material sólido como semillas o conos, se convierten en rayos calientes de baja frecuencia que no pueden pasar a través de estas láminas.

Por lo tanto la temperatura bajo cubierta transparente será más alta, bajando la humedad relativa inicial. Para aprovechar esta ventaja es necesario sin embargo asegurar la ventilación adecuada bajo la cubierta para mantener la humedad relativa baja sin reducir demasiado la temperatura. Si la ventilación es inadecuada, la semilla estará sujeta a una mayor temperatura acortando su lapso de vida sin acelerar efectivamente el proceso de secado. Si la tasa de aire intercambiado es muy alta, se perderá algún efecto de la cubierta transparente sobre la temperatura.

**Ejemplo 9:**

**20 kg de trigo debe ser secado de un contenido de humedad de 12% a 6% bajo cubierta transparente y el punto de rocío de la temperatura es de 17°C.**

**Al inicio del proceso de secado el contenido de humedad es de 12% y la humedad relativa de equilibrio será 65% de humedad relativa. A una temperatura de 45°C, el aire puede retener 41 g de agua/kg antes de alcanzar 65% de HR (ver diagramas). A medida que el aire entre bajo la cubierta con 12 g de agua/kg (punto de rocío 17°C) se extraerá.**

**(41 g - 12 g)/kg de aire = 29 g de agua/kg de aire ó**

**29 g/kg \* 1.2 kg/m<sup>3</sup> = 35 g de agua/m<sup>3</sup> de aire,**

**antes de alcanzar 65% de HR (ver ejemplo 1).**

**Pero al final del proceso de secado, la temperatura tendrá que elevarse a 55°C, ya que la humedad relativa de equilibrio a 6% de contenido de humedad es de alrededor de 17% de HR, y el aire con punto de rocío a 17°C alcanzará 17% de HR alrededor de 50°C.**

**Si el aire está a 55°C y tiene 17% de HR cuando sale de la cubierta, contiene 17 g de agua/kg.**

**(17- 12)g \* 1.2 kg/m<sup>3</sup> = 4.8 g de agua/m<sup>3</sup> de aire que ha sido extraído.**

**Puesto que el trigo debió ser secado del 12 al 6% de contenido de humedad, 1200 g de agua debe ser removida. La cantidad de agua removida varía entre 35 g/m<sup>3</sup> de aire al comienzo hasta 4.8 g/m<sup>3</sup> al final.**

**Del anterior ejemplo se puede observar que el arte de secado bajo cubierta transparente consiste en:**

- 1.- Monitorear la temperatura del punto de rocío, la temperatura y la humedad relativa bajo la cubierta y el contenido de humedad de la semilla.**
- 2.- Asegurar suficiente ventilación (en el ejemplo por lo menos 200 m<sup>3</sup> de aire deberán pasar bajo la cubierta).**

**La temperatura bajo la cubierta no se debe mantener baja con sombra sino con una mejor ventilación.**

**Durante la noche debe ser posible cerrar completamente los marcos cubiertos, para evitar que la semilla absorba humedad cuando el contenido de humedad de la semilla sea más bajo que el contenido de humedad de equilibrio correspondiente a la humedad relativa del aire de la noche.**



Aplicaciones prácticas de secado bajo cubierta cubren desde elevar estructuras tipo tiendas de polietileno transparente sobre las semillas dispersas en el suelo, y por pequeños lotes de bandejas o zarandas cubiertas (Fig. 11), cobertizos polisombra (Fig. 12) hasta hornos solares de secado solares de madera como el que se describe a continuación (Fig. 13).

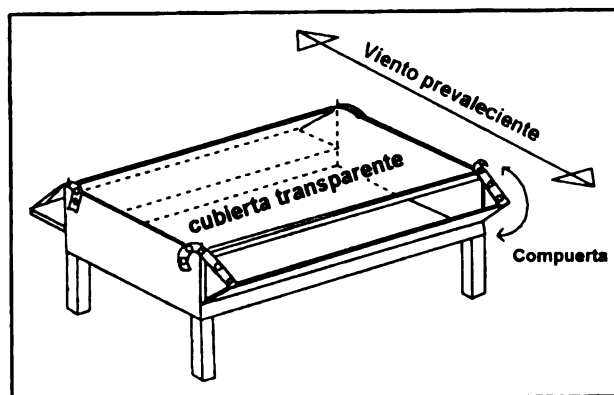


Figura 11.- Ejemplo de una bandeja o zaranda de secado con cubierta transparente.

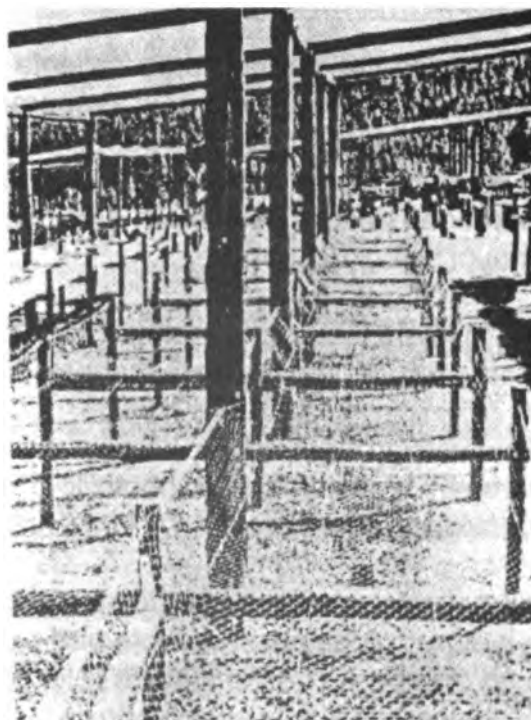
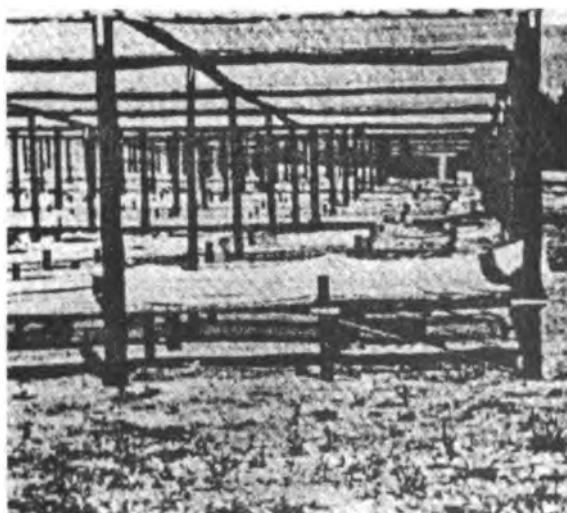


Figura 12. Cobertizos para la extracción de semillas en Zimbabwe: una base de malla de alambre puede ser alineada con yute, con techo de láminas transparentes de polietileno.

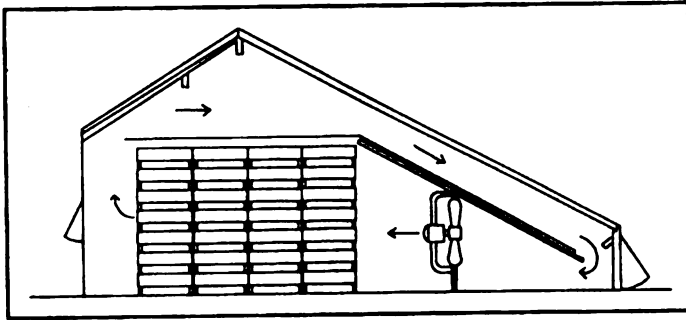


Figura 13. Sección de un corte transversal de un horno solar nómada.

El horno solar nómada consiste de un marco de aluminio cubierto con una película de poliestere vidrioso. El calor solar se absorbe por un falso cieloraso de hojas de hierro negro corrugado. Ventiladores de 7.5 kW en jornadas de 10 horas por día, permiten la circulación de aire dentro del horno. Para mayor información escribir a Oxford Forestry Institute o a Cambridge Glasshouse Co. Ltd., Comberton, Cambridge CB3 7BY,

## Secado al horno

La idea del secado al horno incluye básicamente los mismos procedimientos ya descritos.

El aire dentro del horno se calienta para reducir la humedad relativa y se circula con ventiladores para acelerar la evaporación. Cuando la HR se eleva por el agua evaporada, las ventanas se abren para permitir intercambio de aire. Un horno para el secado de semillas o conos debe ser construido de tal forma que la temperatura, el intercambio de aire y la humedad relativa sean fácilmente controladas. La circulación interna del aire debe tener la mayor velocidad posible.

Su instituto local de tecnología de la madera debe conocer como se construye y opera un horno para el secado de la madera.

Una versión simple de un horno para secado de pequeños lotes de semillas consiste de una lámpara ajustable con un bombillo con razonablemente alto número de watts y un pequeño ventilador eléctrico.

Otra versión simple de horno para secado es: zarandas ó bandejas apilables con mallas de alambre colocadas una sobre otra y cubiertas con por ejemplo, lonas para dar la forma de una chimenea. Una unidad de calor consistente de un ventilador centrífugo y un calentador eléctrico se conecta en el fondo de la chimenea. Se arreglan de tal forma que asegure que el aire circule y controle la temperatura, y evite riesgos de incendio y pérdidas de semilla.

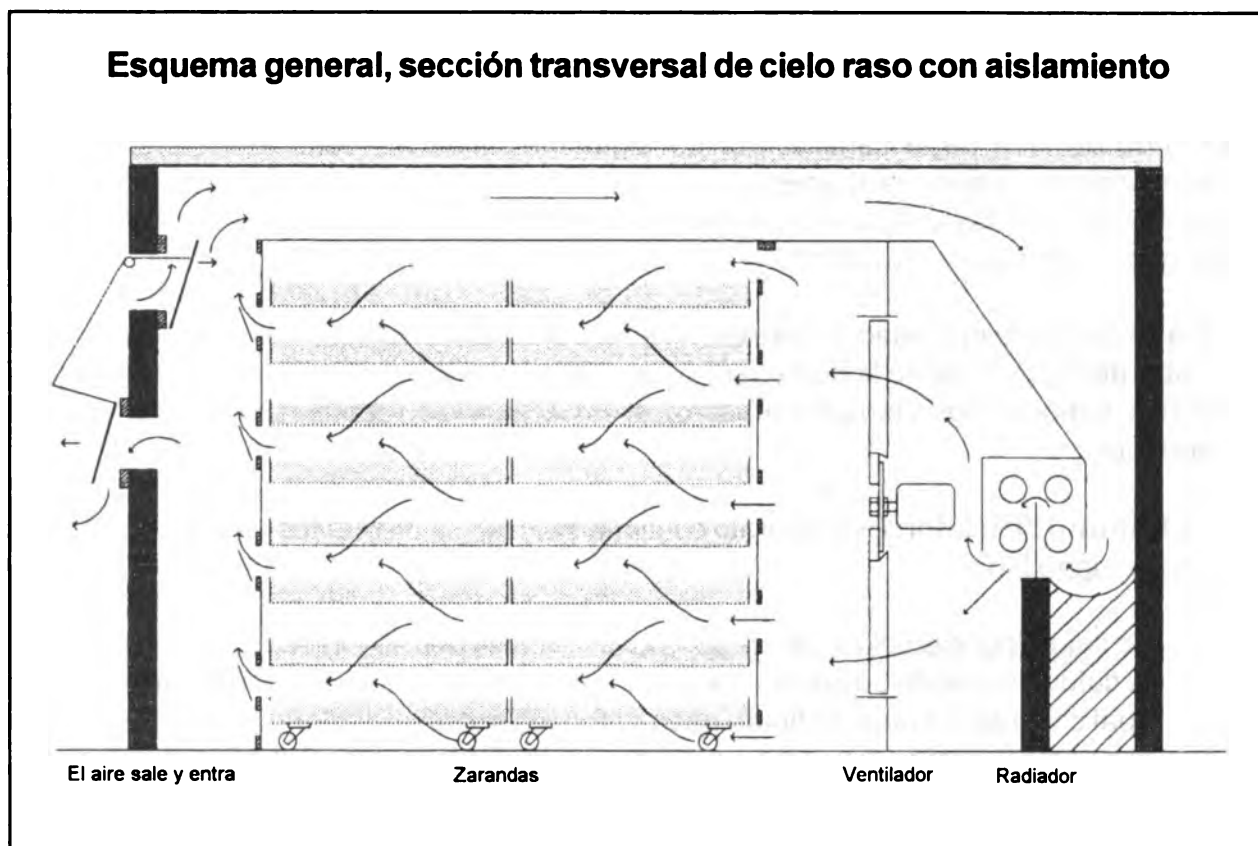


Figura 14. Operación de un horno versátil y de bajo costo para secado de conos (Commonwealth Forestry Institute, Occasional Paper No. 26).

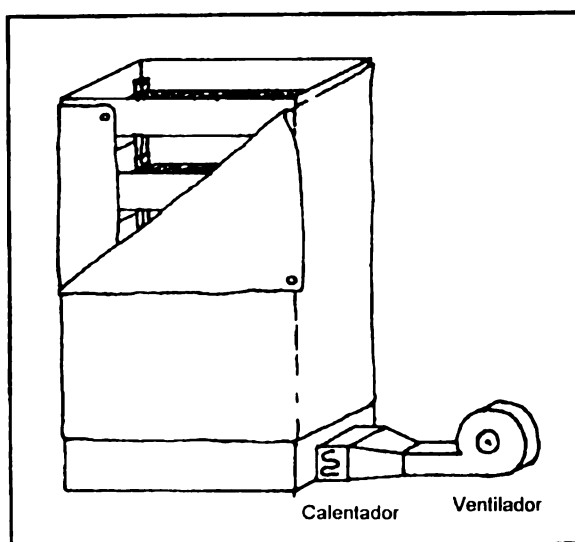


Figura 15. Horno construido con bandejas de mallas de alambre.

## **Presecado de aire y secado al vacío**

El secado de la semilla mediante el incremento de la temperatura del aire de secado, acorta el período de vida de la semilla. Por consiguiente, otros métodos técnicamente más complicados de reducir la humedad relativa sin elevar la temperatura, bajo algunas circunstancias vale la pena considerarlos. En el caso de semillas semi-recalcitrantes donde el período de vida es ya muy corto.

La idea es extraer la humedad del aire de secado (por condensación con un deshumidificador o por liberación química de la humedad) ó bajando la presión del aire y por consiguiente la presión de vapor de agua (secado al vacío), si es necesario en combinación con control de temperatura.

**Deshumidificador:** Este aparato contiene los mismos elementos que un refrigerador o un cuarto frío:

- 1.- Un fluido (por ejemplo freón) circula por un sistema cerrado. Un compresor comprime al fluido causando su condensación. El proceso de condensación libera energía la cual calienta el fluido. El fluido pasa entonces por un radiador donde es enfriado a temperatura ambiente.
- 2.- Posteriormente pasa por una válvula y se evapora en el lado de baja presión (el evaporador). El proceso de evaporación consume energía, Ej: enfría el ambiente (cuando se coloca una tetera con agua sobre el fuego, la energía calienta el agua hasta ebullición a 100°C, después de esto la energía se utiliza para la evaporación del agua). El fluido, ahora en forma de gas, continúa al compresor donde se condensa nuevamente.
- 3.- El aire es soplado a través del evaporador y el radiador por un ventilador.

El aire es enfriado por el evaporador forzando parte de la humedad del aire para que se condense sobre el evaporador. Luego el aire sale del sistema por el radiador donde es recalentado. El aire dejará el sistema, con un par de grados más caliente que a su entrada puesto que ha absorbido el calor liberado por la condensación del agua y la energía utilizada por el compresor y el ventilador. Pero también dejará el sistema con una humedad absoluta menor ya que algún vapor de agua se condensa y cae dentro del balde.

La humedad relativa del aire que sale del deshumidificador depende de la temperatura del aire que ingresa, ya que la temperatura del punto de rocío es fija y del tipo de maquinaria dentro del deshumidificador. En deshumidificadores caseros o de oficina el evaporador se ajusta para trabajar a aproximadamente 2°C. La temperatura del aire una vez que pasa por el evaporador será de alrededor de 6°C, esto es, a una temperatura del punto de rocío de 6°C.

Si la temperatura del cuarto es de 23°C, la temperatura del aire que sale del deshumidificador será de alrededor de 25°C y la HR será de 30% (ver ejemplo 2).

El contenido de humedad de equilibrio para HR del 30% es de aproximadamente 8% de contenido de humedad. Pero esta es también la más baja HR en el rango de trabajo de deshumidificadores a la temperatura del cuarto. Si se requiere de una humedad relativa menor, la temperatura de trabajo deberá elevarse o deberá utilizarse un deshumidificador que se amolde para trabajar con el evaporador a temperaturas bajo 0°C.

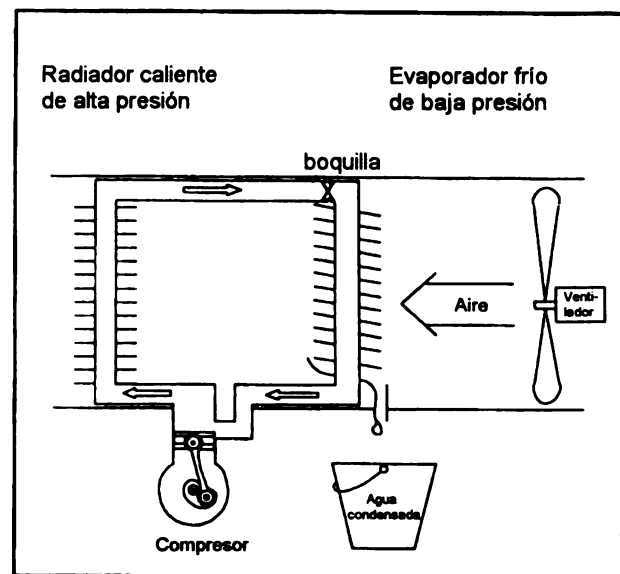


Figura 16. Diseño principal de un deshumidificador.

La capacidad del deshumidificador depende del tamaño del compresor (cuantos m<sup>3</sup> de aire y de humedad enfriará y condensará por unidad de tiempo). La capacidad de un deshumidificador pequeño equipado con un compresor de 280 W (0.38 h.p.) se muestra en la Figura 17. Este es el tipo generalmente utilizado en oficinas en los trópicos húmedos. Al duplicar el tamaño del compresor se doblará aproximadamente la capacidad en litros de agua/día.

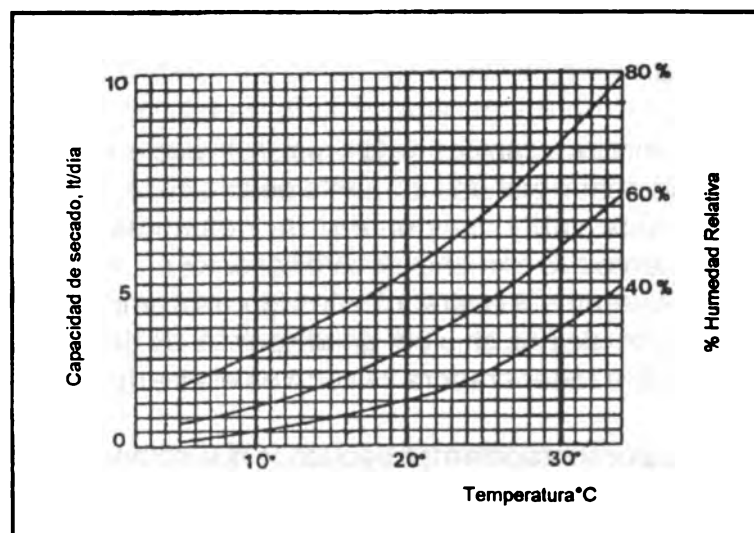


Figura 17. Capacidad de un deshumidificador con un compresor de 280 W.

**Secado químico, disecantes y secadores por desorción (liberación):** Químicos como el sílica gel o el cloruro de litio pueden agregar y absorber altos porcentajes en peso de agua aún a humedades relativas bajas. El químico es secado (regenerado) por aire caliente. Después puede usarse para secar la semilla. La isoterma de liberación de la sílica gel se muestra en la Figura 8 del Anexo 2. Se pueden utilizar dos métodos: 1.- el **método manual** en donde el químico (disecante) se seca en un horno y después se coloca en un envase con la semilla. 2.- el **método mecánico** en donde el aire de secado se circula a través del disecante.

- 1.- Para pequeños lotes de semillas, la sílica gel es el mejor disecante regenerador. Se seca al horno a no más de 175°C y se enfría en un envase sellado antes de usarse.

Ejemplo 10:

Se van a secar 5 kg de trigo del 8% al 6 % de contenido de humedad.

$5000 \text{ g} - (5000 \text{ g} * 0.92/0.94) = 106 \text{ g}$  de agua se van a extraer.

La humedad relativa de equilibrio del trigo para 6% de contenido de humedad es 10% de HR y el contenido de humedad de equilibrio de la sílica gel para 10% de HR es 5% de contenido de humedad. Puesto que la sílica gel debe absorber 106 g de agua, se requieren  $106 \text{ g} / 0.05 = 2.12 \text{ kg}$  de sílica. El sílica gel y la semilla se colocan en un envase cerrado dentro de bolsas tejidas o mallas o dentro de un desecador hasta que por experiencia práctica se indique que la semilla está seca; esto toma generalmente entre 1 y 3 semanas, ya que la circulación del aire dentro del envase es limitada.

Este método sólo se utiliza para pequeñas cantidades de semillas ya que la sílica gel es costosa.

- 2.- En los secadores mecánicos de liberación, el aire de secado se circula a través del disecante alternado con una corriente de aire caliente que regenera el disecante. Este se coloca sobre un número de columnas las cuales son expuestas alternativamente a la corriente de aire caliente, o como en el caso del secador por liberación de Munthers ilustrado en la Figura 18, impregnado en un disco giratorio colocado dentro de una caja por donde pasan las dos corrientes de aire, una es la corriente de aire regeneradora y la otra es el aire de secado.

Los secadores por liberación más pequeños que se encuentran en el mercado tienen una capacidad entre 50 y 120 m<sup>3</sup> de aire de secado/hora.

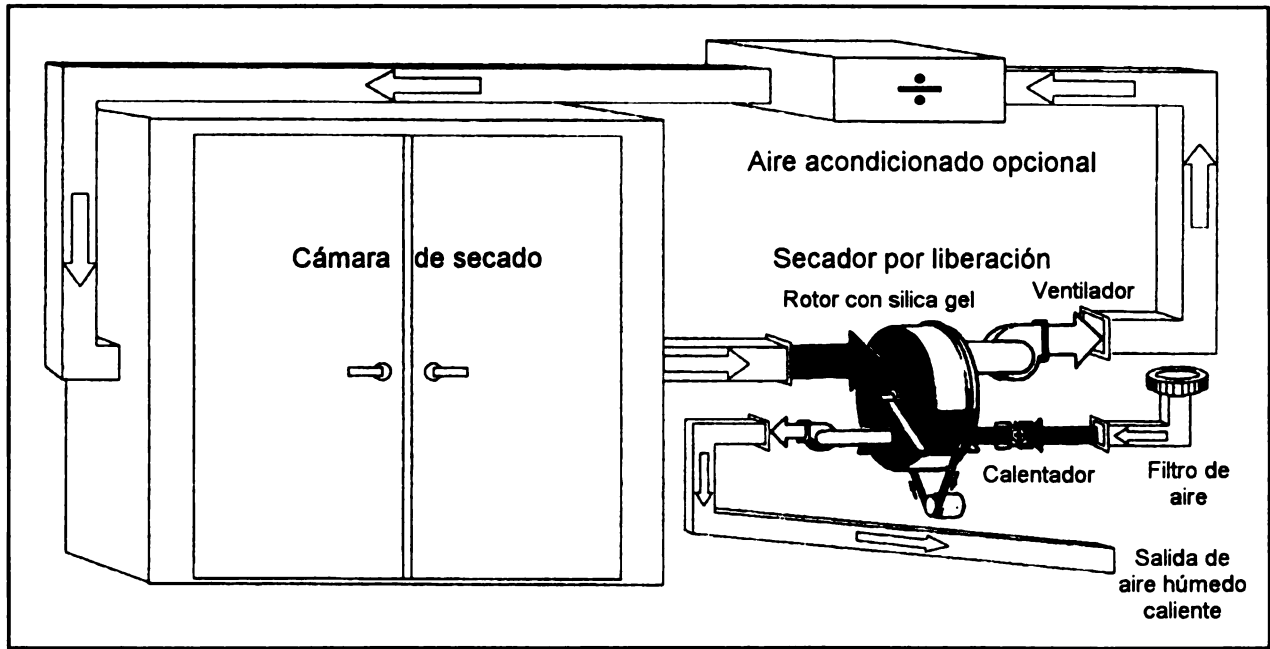


Figura 18. Principio de operación del secador por liberación de Munthers conectado a una unidad de aire acondicionado y a un armario de secado.

La corriente de aire caliente para regeneración calentará el desecante, el cual a su vez calentará el aire de secado. Este requiere algún tipo de enfriamiento de aire de secado. Si el desecador por liberación se conecta a un cuarto frío, muy probablemente se requiere instalar un equipo de enfriamiento adicional ya que en la mayoría de los casos la unidad de refrigeración normal también carece de la capacidad de enfriar el aire de secado.

Un armario de secado pequeño lo produce CMC Automation. El cual consiste en un armario con 24 zarandas o bandejas con malla de alambre en el fondo, con una superficie total de malla de 14.4 m<sup>2</sup>. Esto da una capacidad de alrededor de 150 kg de semilla dependiendo de la especie. Los lados y el techo del armario son de una lamina delgada de metal que permite escapar el calor producido por el secador. La temperatura dentro del armario permanece entonces entre 5-7°C sobre la temperatura ambiente. El armario está equipado con un secador de liberación con una capacidad de 120 m<sup>3</sup> de aire/hora. El promedio de capacidad de secado del armario a una temperatura ambiente de 25°C es de alrededor de 0.7 kg de agua/hora.

Los secadores por liberación son más bien costosos y complicados pero tienen la ventaja de secar materiales a un contenido de humedad correspondiente para 10% de HR a temperaturas bajas hasta 0°C.



Figura 19. Armario de secado de CMC Automation.

Investigaciones recientes indican que algunas especies previamente consideradas como recalcitrantes se pueden secar a 15°C y 15% de HR.

El secado en el almacenamiento a largo plazo de semillas en bancos de germoplasma, también se realiza a 15°C y 15% de HR ya que este esquema se considera adecuado. El secado químico por liberación es casi la única solución para crear este clima.

Ejemplo 11:

Si el armario de secado descrito se equipa con una unidad de enfriamiento que lo mantenga a 15°C, y si el aire de secado que ingresa al secador por liberación tiene una HR de 15%, la experiencia muestra que el aire de secado saldrá del secador por liberación a 25°C con aproximadamente 1% de HR (Fig. 20).

- 1.- A 15°C y 15% de HR, el aire contiene:  
1.6 g de agua/kg de aire y 19.1 kJ/kg de aire
- 2.- A 25°C, 1% de HR, el aire contiene:  
0.2 g de agua/kg de aire y 26.0 kJ/kg de aire.

De esta forma el secador ha extraído 1.4 g de agua y agregado 6.9 kJ/kg de aire. La capacidad de secado será:



$1.4 \text{ g de agua/kg de aire} * 1.2 \text{ kg de aire/m}^3 * 120 \text{ m}^3/\text{h} = 200 \text{ g de agua/h.}$

La capacidad de enfriamiento necesaria será:

$6.9 \text{ kJ/kg de aire} * 1.2 \text{ kg de aire/m}^3 * 120 \text{ m}^3/\text{h} = 994 \text{ kJ/h}$

$994 \text{ kJ/h} / 3600 \text{ seg/h} = 276 \text{ J/seg} = 276 \text{ W.}$

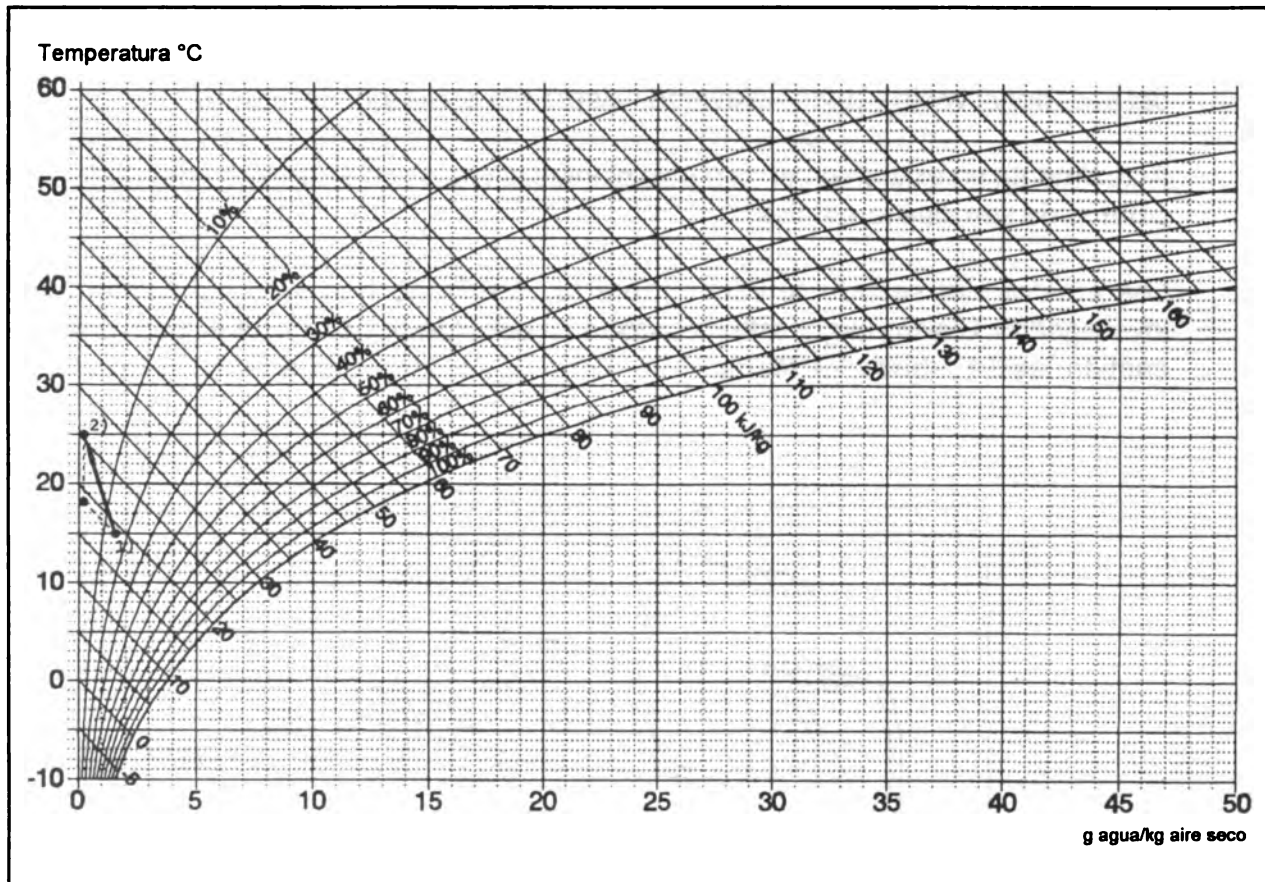


Figura 20. (Ver ejemplo 11 para la explicación).

**Secado al vacío:** La última posibilidad para crear baja HR a bajas temperaturas es el secado al vacío.

Ejemplo 12:

Si en un horno al vacío con semilla a presión atmosférica, la HR es de 100%; y la presión se disminuye a 1/10 (10%) de la original, la presión parcial de vapor de agua será también 10% de la original.

En otras palabras, la semilla en un horno llega a estabilizarse a un contenido de humedad correspondiente al 10% de HR en lugar del 100% de HR si el horno se mantiene a 101.3 milibares (mb) en vez de 1013 mb.

Para propósitos prácticos la evaporación del agua de la semilla saturará siempre la atmósfera del horno a 100% de HR de tal forma que la presión del horno debe ser al mismo porcentaje de la presión atmosférica y la humedad relativa de equilibrio que se desea alcanzar.

Una ventaja del secado al vacío es que la temperatura se puede controlar. La temperatura se puede bajar por la evaporación de agua de la boquilla de riego dentro del secador al vacío y puede elevarse calentando el exterior del horno.

Actualmente no existen en el comercio plantas al vacío con el tamaño adecuado para centros de semillas forestales.

Los efectos del secado al vacío sobre la semilla no han sido suficientemente investigados. Sin embargo, este método se ha utilizado como una rutina para grandes cantidades de cebada malteada.

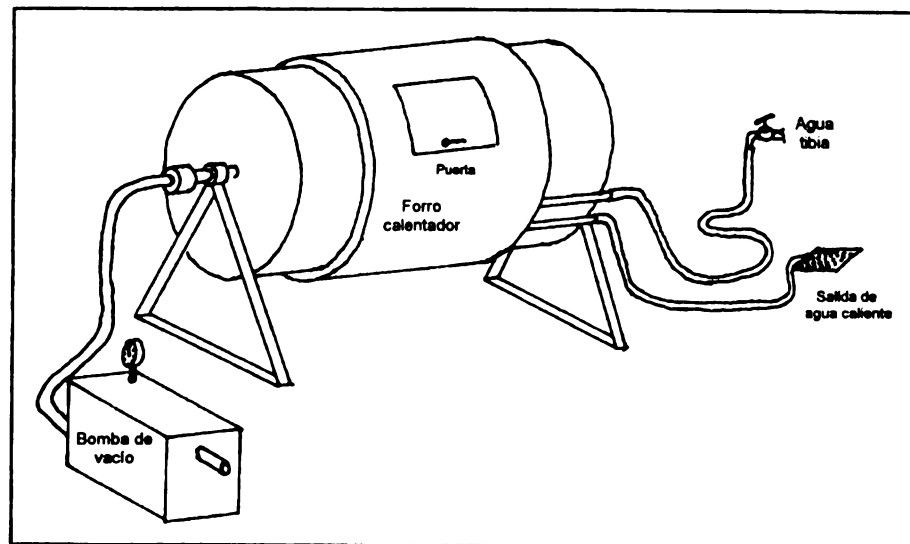


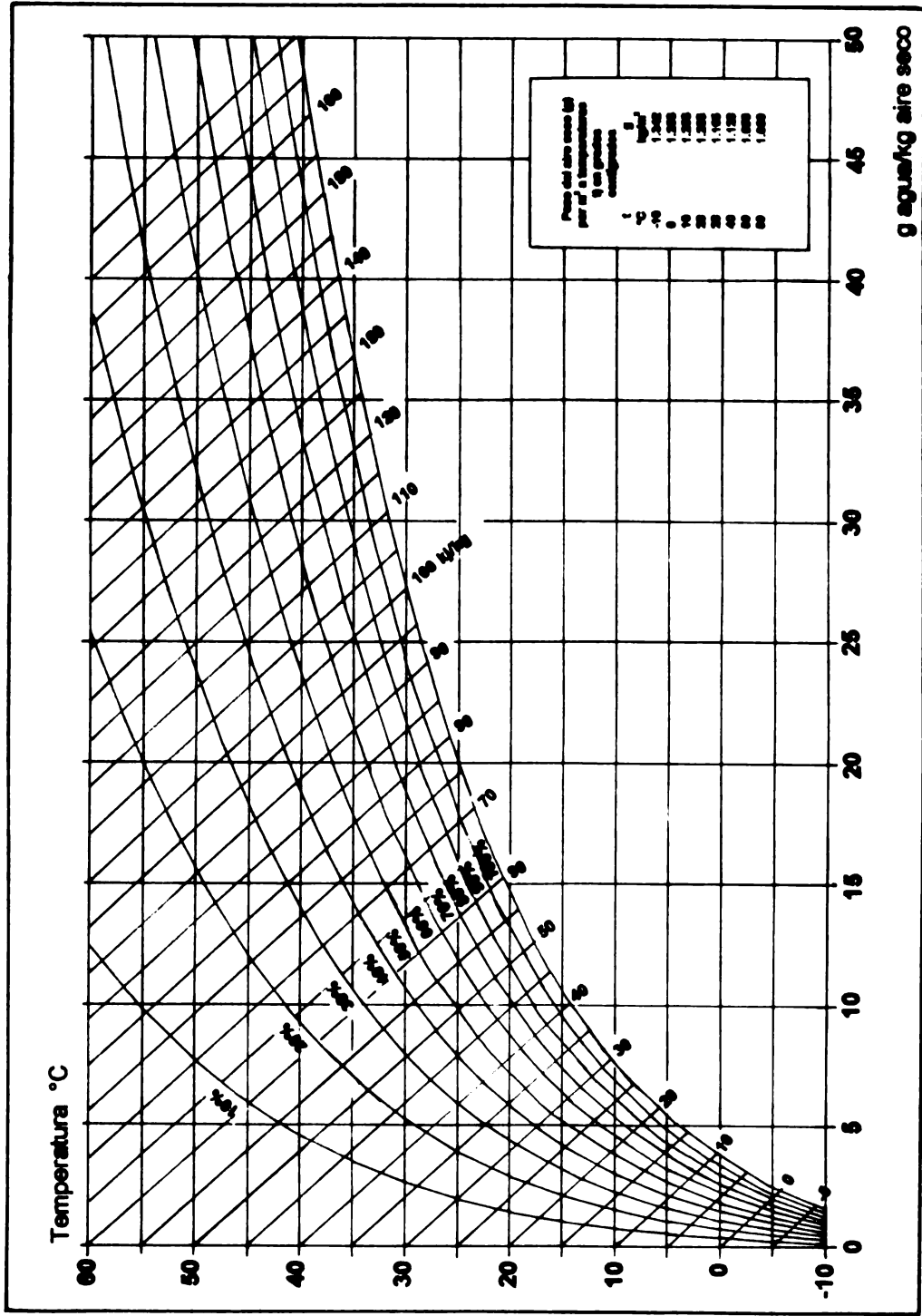
Figura 21. Ejemplo de un horno al vacío.

## LITERATURA SELECCIONADA

- Granhof, J.** 1984. Seed extraction, 2. Extraction of pine seeds by means of sun drying on elevated trays followed by tumbling. DFSC. Humlebaek, Denmark. Technical Note No. 17.
- Griffith, J.F. (ed).** 1972. World survey of climatology. Vol 10: climates of Africa. Elsevier.
- Robbins, A.M.J.** 1984. Seed extraction, 1. The tarpaulin method of sun drying cones and seed extraction. DFSC. Humlebaek, Denmark. Technical note no.9.
- Robbins, A.M.J.** 1985. A versatile, low-cost drying kiln for opening pine cones. Commonwealth Forestry Institute Occasional papers No. 26. (Vease también como DFSC Technical note No. 22).
- Roberts, E.H.** 1972. Viability of seeds. Chapman & Hall, London.
- Roberts, E.H.; Ellis, R.H.** 1989. Water and seed survival. Annals of Botany 63: 39-52.
- Seward, B.R.T.** 1980. The production, handling and testing of forest tree seed in Zimbabwe - a review of methods and results. Zimbabwe Bull. For. Res. No.8, For. Commission, Salisbury.

Anexo 1

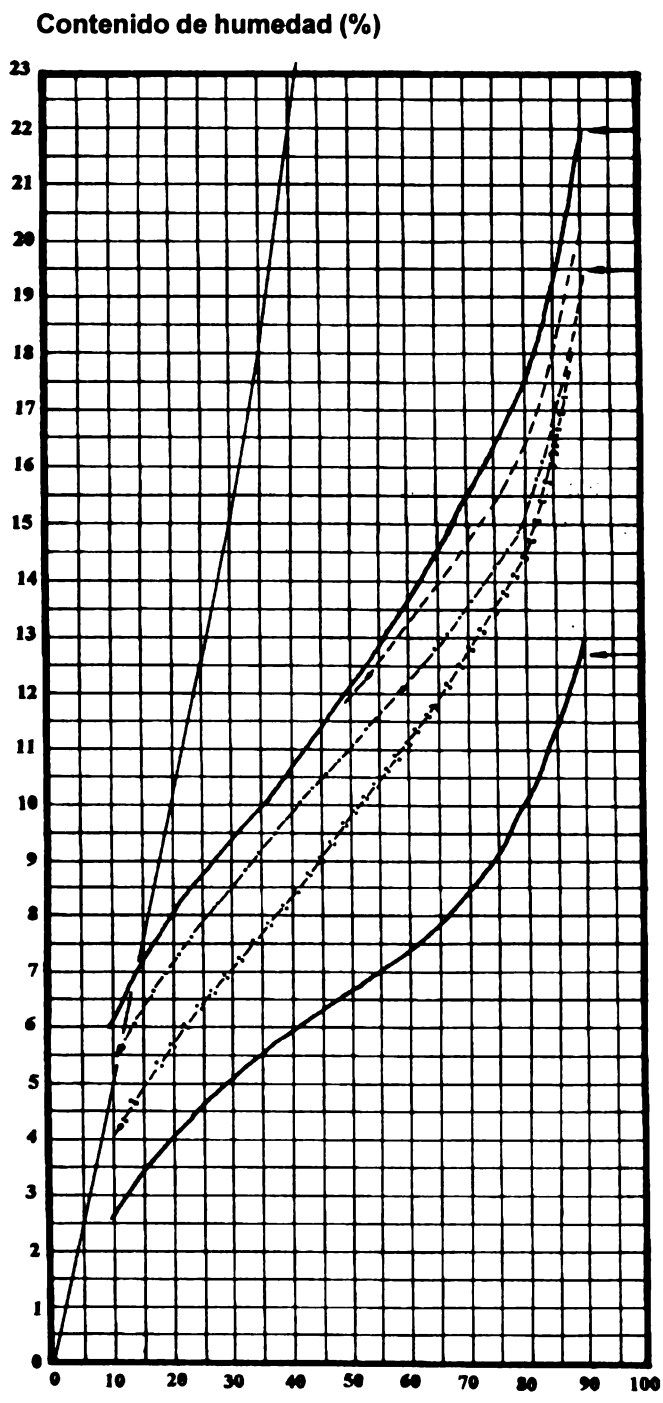
Diagrama I - X de aire húmedo para una presión atmosférica = 1013 mbar



## Anexo 2

## Isotermas de absorción (liberación).

Contenido de humedad (% peso humedo) en equilibrio con la humedad relativa.  
(extracto de Roberts 1972).



Semilla rica en carbohidrato y proteína, desorción y baja temperatura

Trigo con 2% de contenido de aceite:

— desorción, 25 °C  
 - - - desorción, 35 °C  
 — absorción, 35 °C

Semillas con altos contenidos de aceite, absorción, alta temperatura.

Nota:

Las curvas de desorción generalmente están 1-2% más alto en contenido de humedad que en curvas de absorción.

Un incremento de 10°C en temperatura, disminuirán las curvas en aproximadamente 1% de contenido de humedad.



# PROCESAMIENTO DE SEMILLAS<sup>1</sup>

Finn Stubsgaard y S. Moestrup

## INTRODUCCION

Las semillas maduras la naturaleza misma las dispersa hasta sitios apropiados para su crecimiento. Los diversos tipos de frutos están diseñados para asegurar la dispersión de diferentes formas. Los conos y la mayoría de los frutos secos tienen semillas que se dispersan por acción mecánica (vainas que abren repentinamente); por el viento (semillas aladas o con pelos); por animales (semillas con cáscara, bellotas); por medio del agua (semillas flotantes). Los frutos carnosos generalmente son consumidos por aves o mamíferos y sus semillas son distribuidas en las heces o abandonadas en el suelo luego de aprovechar la pulpa; en un sitio más o menos alejado del árbol progenitor.

Los frutos, en la mayoría de los casos, se deben recolectar antes de la dispersión por lo que es necesario precurar, extraer, limpiar, almacenar y en algunos casos pretratar la semilla. Estos procesos deben seguir cierta secuencia para los diferentes grupos de conos y de frutos (fig.1). Los frutos han sido divididos en cuatro grupos de acuerdo al sistema de procesamiento que necesiten. En el tercer grupo *frutos carnosos* se pueden encontrar tanto semillas recalcitrantes como ortodoxas.

Al procesar las semillas se busca:

- 1) Desechar materiales indeseables tales como hojas, basura, etc. que pueden transmitir enfermedades. Así se logra mantener el lote con una viabilidad y longevidad óptimas.
- 2) Extraer las partes de los frutos (por ejemplo la pulpa) que van a reducir la longevidad o inhibir la germinación.
- 3) Secar las semillas ortodoxas para aumentar su longevidad.
- 4) Reducir el tamaño del lote con el fin de proporcionar condiciones óptimas para el almacenamiento.
- 5) Conformar un lote de semillas homogéneo para calcular la densidad de siembra y producir una buena cama de germinación.

En algunas ocasiones ciertos procesos se pueden demorar, u obviarse tal es el caso de operaciones ocasionales, extracción en el sitio de la recolección, ciertas especies, siembra inmediata, etc. Cuando el procesamiento se realiza en un centro de procesamiento central para la distribución regional, nacional o internacional, es necesario planificar cuidadosamente todas las operaciones.

---

<sup>1</sup> Trad. "Seed Processing". Humlebaek, Denmark. Danida Forest Seed Centre. Lecture Note C-7. 1991. 62 p.

Algunas pueden realizarse manualmente; pero a menudo, y siempre que se manejen lotes grandes, debe prepararse un sitio para realizar la extracción, con bodegas, maquinaria y cualquier otro equipo apropiado.

El procesamiento de semillas forestales se ha realizado hasta la fecha en forma sencilla en la mayoría de países. Las máquinas diseñadas para este fin son difíciles de adquirir. Muchas veces es posible adaptar maquinaria agrícola o se puede construir localmente.

Las máquinas citadas no son las únicas en el mercado. Pueden encontrarse otras con características, similares, los modelos viejos desaparecen y se desarrollan nuevos modelos, en los que generalmente se aplican los mismos principios.

Para mantener el tamaño de esta lectura bajo límites razonables, se hace referencia a las siguientes lecturas:

- C-3 Planeación de la recolección de semillas
- C-4 Recolección de semillas
- C-5 La humedad de las semillas
- C-6 Manejo de semillas antes del procesamiento
- C-8 Ensayos de semillas
- C-9 Almacenamiento de semillas



**OTRAS ESPECIES RECALCITRANTES**

**FRUTOS CARNOSOS**

**FRUTOS SECOS**

**CONOS**

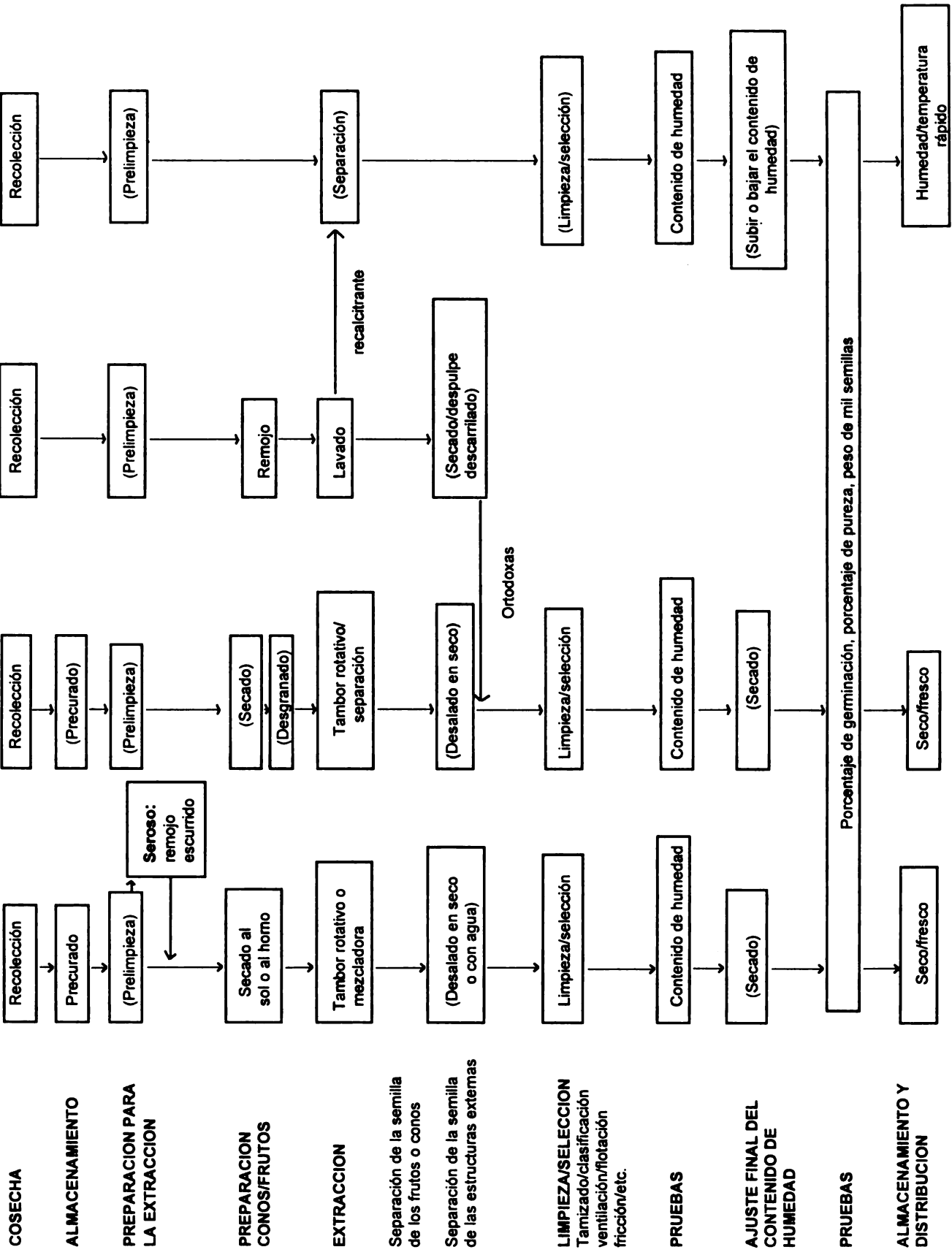


Figura 1. Plan para el procesamiento de semilla

## PLANIFICACION DEL PROCESAMIENTO

Durante el procesamiento de un lote de semillas, desde la recolección hasta el almacenamiento, la extracción es con frecuencia el cuello de botella. Muchas veces es factible tener mucho personal en la recolección, pero no es posible tener más de una línea de producción si la extracción es mecanizada. En este caso la capacidad de la máquina extractora (macerador o el horno para conos) se convierte en el factor limitante.

Con el fin de planificar el procesamiento es necesario recopilar información sobre la época esperada de cosecha, periodicidad (años entre buenas cosechas tomando en cuenta la capacidad de almacenamiento de las especies), tiempo máximo de almacenamiento, tipo de procesamiento utilizado para la extracción, demanda anual de semilla (en kg), y cantidad (en kg) que se obtiene por kg de frutos.

Algunas de estas cifras se obtienen en colaboración con las unidades a cargo de la recolección y de los usuarios. Stubsgaard y Badsgaard (1989) plantean un sistema de registro para la demanda de semillas y de datos sobre las fuentes semilleras (datos sobre evaluación de la cosecha, recolección, extracción y características de la semilla). La planificación del procesamiento es una extensión natural de este sistema.

La información recolectada puede colocarse en un esquema similar al cuadro 2. Las especies se clasifican según el proceso y se acomodan de acuerdo al tiempo de procesamiento.

### Equipo y facilidades

Con base en el cuadro se puede calcular la capacidad necesaria de procesamiento o sea el tamaño de la maquinaria y la cantidad de mano de obra requeridos.

#### Ejemplo 1.

Especie:	XX
Cosecha máxima en un buen año:	1000 sacos
Período de recolección:	5 semanas
Almacenamiento temporal máximo:	5 semanas

Toda la semilla debe ser extraída en  $5+5=10$  semanas.

Siempre que ninguna otra especie que usa el mismo proceso de extracción tenga que ser procesada en el mismo período, el proceso de extracción tendría una capacidad de 100 sacos por semana.

Es deseable tener una capacidad de procesamiento que pueda dar abasto con la cosecha abundante de un buen año. El procesamiento constituye una pequeña parte del costo de obtener la semilla. Otros costos como el de recolección de semilla por kg, se reduce en años de buenas cosechas. La calidad de la semilla es también mejor en buenos años.

No todas las especies tienen cosechas abundantes en los mismos años. Dependiendo de la periodicidad media de las especies en cuestión, es práctico estimar la capacidad de procesamiento, multiplicando la capacidad de cada proceso por 2 o por 4 cuando se trabaja con promedios anuales de cosecha.

Cuadro 2. Ejemplo de un diagrama para el procesamiento.

Especie	Epoca de cosecha	Periodicidad en años	Tiempo máximo de almacenamiento temporal	Extracción	Demanda anual de semilla (Kg)	Kg de semilla por Kg de frutos	Demanda anual de frutos (Kg)	Demanda total anual de semilla (Kg)	Demanda total anual de frutos (Kg)
<b>SAMARAS INDEHISCENTES</b>									
1	jun-jul	1-2	3 semanas	descascarar  horno para secado	300	0.75	400	1520	1760
2	set-oct	1-3	6 semanas		50	0.75	67		
3	set-ene	1-2	2 semanas		100	0.50	200		
4	oct-nov	3-7	2 semanas		1000	1.00	1000		
5	oct-ene	1-2	2-4 semanas		70	0.75	93		
<b>CONOS Y FRUTOS SECOS DEHISCENTES</b>									
7	jul-ago	1-2	3 semanas	horno h + rotación h + trituración secado lento	500	0.53	940	970	7280
8	set-oct	2-3	2 semanas		350	0.07	5000		
9	oct-dic	1	4 semanas		100	0.15	670		
10	nov	1-3	2 semanas		20	0.03	670		
<b>FRUTOS CARNOSOS MACERACION</b>									
11	jun	1-3	1 semana	2d. paso maceración seca + flotación recalcitrantes	10	0.10	100	660	9260
12	jul 1s	1	1 semana		300	0.35	860		
13	ago-set	2-3	2 semanas		150	0.02	7500		
14	ago 2s	1	2-4 días		200	0.25	800		
<b>RECALCITRANTES</b>									
15	jul 3s	1-2	-	limpieza manual	50	0.50	100	200	320
16	jul 2s	1-3	3 días		150	0.70	220		
<b>TOTAL</b>								<b>3350</b>	<b>18620</b>

s = semanas

d = días

### Ejemplo 2:

Si se utilizan los datos de la figura 2 es posible calcular la capacidad necesaria por ejemplo el secado:

**Secado:** Las especies 1 al 4 y la 10 (1.470 t) se secan al sol o a la sombra. No es necesario utilizar calor artificial.

En la estación pico (octubre-noviembre) alrededor de 1 tonelada (t) se deben secar

en aproximadamente seis semanas (s). Si el secado promedio toma tres días (d) y se realiza durante seis días por semana, la tonelada debe dividirse en  $6s * 6d / 3d = 12$  grupos

$1t / 12$  grupos = aprox 80 kg/grupo

Si la densidad promedio es de 250 g/l y es posible secar las semillas en capas de 3cm de espesor, entonces se necesitan

$$\frac{80 \text{ kg}}{250 \text{ kg/m}^3 * 0.03 \text{ m}} = \text{aprox. } 11 \text{ m}^2 \text{ de bandejas, cribas o zarandas para el secado.}$$

**Secado al horno:** Los frutos y los conos de las especies del 7 al 9 (6 610 t) tendrán que secarse en el horno. A la vez, la mitad del total de la producción debe tener un secado final en el horno para alcanzar un contenido de humedad lo suficientemente bajo para el almacenamiento.

Si se asume que A) la especie 8 exige un máximo esfuerzo en la capacidad de secado del horno, B) deben extraerse 5 t en ocho semanas, C) una carga en el horno toma 12 horas para secar (1 horneada/día, 5 días/semana), D) la densidad es de 0.5 kg/l y E) puede utilizarse una capa de 5 cm, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{5 \text{ t}}{5d * 8s * 0.5 \text{ t/m}^3 * 0.05 \text{ m}} = 5 \text{ m}^2 \text{ de bandejas (ó } 0.25 \text{ m}^3/\text{horneada).}$$

Si se usa el horno descrito en Stubsgaard y Poulsen (1995), p. 22 (una descripción completa en Robbins 1985) con ocho bandejas apiladas, cada una debe tener una superficie de  $0.6\text{m}^2$  ( $8 * 0.6\text{m}^2$ ). Es ventajoso utilizar el mismo tipo de bandejas para el secado al sol y al horno. Para el secado al horno es ventajoso poseer uno o dos juegos extra para poder cargarlas por anticipado y permitir a los conos y frutos presecar antes del secado al horno.

En este caso son necesarios  $11 \text{ m}^2 + 3*5 \text{ m}^2 = 26 \text{ m}^2$  ó 44 bandejas de  $0.6\text{m}^2$  cada una.

Se puede continuar en la misma forma con todos los procesos (separación de las semillas, maceración, flotación, limpieza, etc.) después de decidir el tipo de equipo a utilizar.

En algún momento del ejercicio es preciso decidir cuánta "capacidad extra" es necesaria para procesar mayores cantidades de semillas en años de buenas cosechas. Resulta práctico tener capacidad extra en las cribas o zarandas (cajas de poca profundidad con el fondo de cedazo de alambre), para mantener adecuadamente los conos y los frutos que deben secarse pueden mantenerse en espera durante el precurado. Dependiendo de la capacidad de las especies para tener cosechas periódicas es posible, se pueda por ejemplo, escoger multiplicar las cifras mencionadas por dos, se necesitaría  $44 * 2 = 88$ . El horno debe tener una superficie de  $0.6 \text{ m}^2 * 2 = 1.2 \text{ m}^2$ .

## **Mano de obra y tiempo**

Los conocimientos sobre el procesamiento de semillas de especies tropicales ponen de manifiesto la necesidad de obtener información desde la época de maduración, el almacenamiento temporal adecuado con un alto contenido de humedad, métodos de extracción, temperaturas apropiadas para el secado y condiciones de almacenamiento. Aunque ciertos principios generales son aplicables a la extracción de los diferentes grupos de especies (fig. 1) existen pequeñas particularidades y métodos eficientes para cada especie los cuales aún no son muy conocidos. A la vez, hay un vacío en el desarrollo de maquinaria diseñada específicamente para la extracción de semillas de plantas leñosas.

Por estas razones aún se depende de métodos manuales de procesamiento que cada quién conozca sus propias especies y se hayan desarrollado técnicas y maquinaria adecuadas.

Es posible almacenar los frutos recién recolectados por un tiempo relativamente corto. Si no son procesados, la cosecha se pierde. Cuando el procesamiento es una labor intensiva es necesario cuantificar el tiempo de procesamiento con alguna precisión para disponer de suficiente mano de obra.

La primera acción para una planeación real es recopilar información sobre las especies que se van a manejar en un registro similar a la figura 2. Como segundo paso es necesario, en colaboración con alguna unidad de recolección, establecer un registro sobre las fuentes semilleras y las cifras relacionadas con las similares presentadas en Stubsgaard y Baadsgaard (1989).

Con estas herramientas y el plan de recolección anual de la unidad de recolección es posible contar con un plan de procesamiento anual que incluya la distribución de la mano de obra y un presupuesto.

Como las cosechas son diferentes todos los años, es necesario el continuo insumo de la evaluación de los recolectores durante la estación para revisiones corrientes del plan de recolección (ver Stubsgaard y Baadsgaard (1989) para la descripción de estos procedimientos.

Cuando se han registrado los planes, el período estimado de mano de obra y el presupuesto necesarios durante varios años, se cuenta con una herramienta segura y eficiente para la planificación.

## **El sitio de extracción y procesamiento**

En algunos casos la extracción se realiza en el sitio de recolección, pero en general los frutos son transportados a un sitio de extracción. Este puede ser la casa de un finquero que requiere semilla para su propio uso, un vivero, la sede de un proyecto de reforestación, un centro regional o nacional de semillas. Tanto para recolectores grandes como pequeños el sitio debe reunir ciertas condiciones.

Como los frutos y las semillas tienen cierta longevidad, el sitio de extracción debe ubicarse a una distancia de transporte aceptable de las áreas de recolección y de los usuarios.

Se debe ubicar pensando también en que en el futuro tenga un buen acceso a los sitios de recolección. Puede tener áreas en sus alrededores apropiadas para el establecimiento de fuentes semilleras.

Se recomienda un sitio fresco, con baja humedad relativa y accesible por los vientos predominantes; con infraestructura, mano de obra, agua, electricidad, teléfono y vías de acceso.

En muchos casos es una ventaja tener acceso a un área adicional, de unas 5 ha para un vivero de investigación, plantaciones experimentales, parcelas demostrativas, etc. Puede ser provechoso tener fácil acceso a otros bosques o instituciones de investigación y administrativas.

Un edificio de dos o tres pisos puede facilitar el flujo entre los procesos, pero tener todo el complejo en el primer nivel es más flexible para fines de reorganización y ampliación. Además, es necesario tener la extracción en la planta baja cuando el secado es solar.

Las cifras derivadas de los ejemplos y las figuras 1 y 2 dan una idea de la superficie necesaria para el procesamiento y almacenamiento de la semilla.

Normalmente se requieren los siguientes grupos de funciones: 1) Facilidades de oficina y otros servicios, 2) Recepción, almacenamiento temporal, precurado de los frutos y almacenamiento del equipo de recolección, 3) Extracción y procesamiento de la semilla, 4) Almacenamiento de semilla, 5) Empaque y distribución, 6) Pruebas de rutina.

Cada grupo de funciones necesita sus propias facilidades para el almacenamiento de equipo y materiales.

## **RECEPCION, PRELIMPIEZA Y ALMACENAMIENTO TEMPORAL DURANTE EL PROCESAMIENTO**

**Recepción.** Normalmente, los frutos o conos se transportan al sitio de procesamiento en camiones en sacos de tela gruesa o en canastas. Debe haber estrecho contacto entre el centro de procesamiento y la unidad de recolección con el fin de disponer de personal para descargar inmediatamente la cosecha y colocarla en un sitio seguro con buena aireación.

**Prelimpieza.** Si hay ramillas, hojas y otras impurezas se debe prelimpiar la cosecha antes de la extracción. Esto se debe a que: 1) Las impurezas son un problema durante las siguientes etapas del procesamiento (por ejemplo las ramillas que se despedazan durante la maceración son difíciles de separar de la semilla; las hojas húmedas dificultan el secado). 2) Las impurezas que se dejan con la cosecha pueden contaminar la semilla al ser extraída (por ejemplo las agujas de pino transmiten la enfermedad de las agujas marrón o las impurezas portadoras de organismos vivos del suelo).

Es difícil dar una guía para la prelimpieza. En esta etapa la cosecha aún es voluminosa, posee desde conos hasta granos suaves. Por consiguiente, la maquinaria utilizada durante las siguientes etapas del procesamiento no se pueden usar en la prelimpieza.

Los siguientes tratamientos o una combinación de ellos, pueden ser apropiados:

- ↪ **Clasificación manual y remoción de partes adheridas e impurezas:** Para lotes pequeños se utiliza una canasta plana o en un recipiente similar. Para lotes grandes, puede utilizarse una mesa inclinada con vibración que mantiene una alimentación constante o una banda transportadora.  
Los frutos de algunas especies pueden desgranarse para separar el fruto de los tallos y otras partes que se mezclan con el fruto en la recolección.
- ↪ **Tamizado y remoción del material inútil con presión de aire:** Puede hacerse manualmente usando un tamiz y una canasta. Si la cosecha no está muy mojada puede utilizarse una máquina pequeña como la limpiadora de semillas Wac-a-way. Para tamizar las ramillas y las partículas de suelo y separar las hojas usando una corriente de aire.  
El tambor rotativo utilizado para la separación después de la extracción también puede usarse para la prelimpieza.
- ↪ **Flotación y lavado:** Muchas impurezas se eliminan con el lavado. Por ejemplo los frutos carnosos se eliminan o disuelven con agua en una criba.  
Si los materiales indeseables flotan y los frutos se hunden; la cosecha puede colocarse en un recipiente grande (una tina de baño, o un estañón partido a la mitad) donde la basura puede extraerse fácilmente.  
Los frutos se deben secar inmediatamente después del lavado a menos que el próximo paso del procesamiento utilice agua como en el caso de la mayoría de los frutos carnosos maduros.

**Almacenamiento temporal durante el procesamiento.** Existen períodos de almacenamiento inevitables entre los diferentes procesos. Los dos mayores problemas son: 1) mantener la identidad de cada lote de semillas y 2) mantener la viabilidad.

Las dos mayores amenazas para la viabilidad son una temperatura y un contenido de humedad altos (Stubsgaard y Poulsen 1995). La temperatura y el contenido de humedad interactúan. Las semillas y los frutos con un alto contenido de humedad respiran activamente, consecuentemente la temperatura aumenta si la ventilación es insuficiente. Si la cosecha está madura, el objetivo será mantener la semilla tan seca como sea posible durante el período de almacenamiento en el sitio de extracción, y bajar el contenido de humedad lo antes posible durante el procesamiento, al nivel al cual se va a almacenar la semilla.

Para el almacenamiento temporal deben utilizarse recipientes permeables, tales como sacos de tela gruesa, canastas planas o cribas apilables.

Si se usa el almacenamiento abierto en el piso, éste debe estar limpio y la capa de semillas debe ser delgada. Deben evitarse los pisos sucios y de concreto. Deben tenerse cuidados extremos para no mezclar los lotes.

Los conos, por ser voluminosos, se conservan normalmente en un cobertizo con los lados abiertos, y estantes contruídos con dos listones donde se colocan las bolsas llenas de conos hasta la mitad y en una sola capa o fila, (Stubsgaard, 1989).

Los frutos carnosos se almacenan de manera que el exceso de agua y de jugo pueda escurrir. Una vez que el contenido de humedad ha bajado hasta un 8-12% deben utilizarse envases cerrados.

Los frutos y las semillas no deben colocarse directamente bajo la luz solar, a menos que sea para secarlos, y los períodos bajo el sol deben ser tan cortos como sea posible.

## FRUTOS SECOS INDEHISCENTES

Algunas especies tienen frutos y semillas que no pueden separarse fácilmente. Con frecuencia son frutos indehiscentes o sea no abren al secar, y al madurar los frutos están relativamente secos.

Los frutos de este grupo usualmente contienen una semilla. Esta crece junto al ovario hasta fusionarse, tal es el caso de las bellotas, nueces, aquenios y sámaras aladas. Normalmente se almacenan y se siembran sin extraer las semillas. Algunas veces, partes de la flor o del ovario se desarrollan hasta formar una parte distintiva del fruto; es el caso de las brácteas (involucros) de la teca, las alas de *Shorea robusta* y las copas o cáliz de las bellotas de los *Quercus*.

Estos frutos requieren de un procesamiento simple. Es posible reducir su tamaño para facilitar el almacenamiento y la siembra: removiendo los tallos o debilitando el cáliz de las bellotas, rompiendo las alas, quitando las brácteas (los frutos de la teca se frotran unos contra otros en una máquina de pelar café, o en un separador Dybvig). Esto debe hacerse con cuidado para no dañar las semillas. Los métodos varían, pero la maquinaria descrita en los siguientes capítulos puede ser útil.

La materia suelta puede separarse a mano utilizando una criba. Las semillas vanas se separan por flotación. No obstante, una muestra del lote de frutos eliminados debe ser evaluada cortando una muestra.

Se ha recomendado que las semillas de cedro sean almacenadas en sus conos, ya que al separarlas pierden rápidamente su viabilidad. Al desalmacenar los conos, se sumergen en agua. Después de este tratamiento pueden partirse fácilmente con la mano y extraer las



semillas para sembrarlas de inmediato.

Algunas semillas cubiertas por una pulpa delgada pueden secarse y sembrarse con la cubierta seca intacta. Es apropiado secar los frutos bajo techo revolviéndolos frecuentemente. Algunos ejemplos son *Vitex parviflora* en las Filipinas, *Podocarpus* spp. y *Maesopsis eminii* en Africa. Sin embargo, en algunas de estas especies la germinación puede mejorar al quitarle la pulpa.

## EXTRACCION

Los frutos y los conos pueden agruparse de acuerdo al método de extracción (fig.1). Los primeros dos grupos abren al secarse. Los principios, métodos y procedimientos de secado son descritos por Stubsgaard y Poulsen (1989).

El tercer grupo consiste en frutos carnosos, los cuales deben ser macerados para quitar la pulpa.

El cuarto grupo lo forman las semillas recalcitrantes. Estas no pueden secarse o enfriarse demasiado y deben ser procesadas tan rápido como sea posible.

Como las semillas acumulan materia seca hasta su madurez, los conos y los frutos deben estar maduros antes de la extracción. Stubsgaard y Baadsgaard (1989) describen cómo evaluar la madurez y Stubsgaard y Poulsen (1995) y Stubsgaard (1989) detallan los procedimientos y facilidades para el precurado.

El grado de mecanización utilizado en la extracción depende de la escala de la operación. Generalmente el equipo para pequeña escala (mayales y tambores rotativos/mezcladoras) puede construirse localmente y a un bajo costo utilizando motores eléctricos. Muchas veces éste es más eficiente que los modelos de separación manual.

### Conos

Las coníferas tienen semillas aladas. En su estado natural cuando las semillas están maduras el cono seca y abre. El viento lo sacude y las semillas se desprenden. Si llueve, el cono se vuelve a cerrar. Este mecanismo asegura a la semilla la posibilidad de desplazarse lejos del árbol madre.

La manera más sencilla de extraer semillas de conos es mediante la reproducción de las condiciones naturales óptimas para la diseminación, por ejemplo secando y sacudiendo.

**Secado:** Los conos maduros (marrones y secos) normalmente tienen un contenido de humedad del 20-25%. En ésta etapa las escamas comienzan a abrirse. A un contenido de humedad 10-15% las escamas abren completamente. Los conos recolectados inmaduros abren a un contenido de humedad menor o no lo hacen.

En el trópico ésto a menudo significa que los conos tienen que alcanzar temperaturas de 45°C a 60°C antes de que la humedad relativa baje tanto que se abran por completo.

La mayoría de conos se seca al sol. Esto se hace normalmente durante 4 a 10 días, dependiendo del estado de madurez, del brillo solar y de la temperatura del punto de rocío.

Cuando los conos abren, algunas semillas se desprenden. Por ello deben extenderse en una capa con un espesor de 1 ó 2 conos en canastas planas, cribas, zarandas o lonas desde donde pueda recolectarse la semilla. Debe revolverse constantemente para lograr un secado y una apertura uniformes.

Cuando se secan conos con un alto contenido de humedad rápidamente, sus capas externas pueden colapsar atrapando la humedad en el interior. El cono permanece cerrado e impide la extracción. Esta condición es llamada *endurecimiento*. Esto es característico de los conos de algunos pinos que se recolectan verdes, antes de alcanzar la madurez, y se secan inmediatamente.

Los conos no deben recolectarse antes de que comiencen a ponerse de color marrón. Los que no estén completamente marrón deben mantenerse bajo techo, con buena ventilación, durante una o dos semanas hasta que cambien de verde a marrón antes de intentar secarlos. Los que presenten endurecimiento deben humedecerse y tratarse como conos inmaduros.

Deben hacerse provisiones para cubrir los conos en caso de lluvia ya sea trasladándolos al interior o levantando un techo temporal. Si la humedad es alta durante la noche deben cubrirse. Robbins (1984), describe el método de secado al sol en lonas (Apéndice 2). Este método también puede utilizarse al realizar la extracción en el sitio de recolección.

El secado al sol es menos confiable y toma más tiempo en climas o en períodos del año con una alta humedad relativa. En estos casos puede ser necesario el secado bajo cubiertas transparentes o al horno, al menos como complemento para asegurar la apertura completa de los conos. Stubsgaard (1990) describe los métodos de secado, procedimientos y equipo.

Algunos conos que tienen el hábito de mantenerse cerrados, se llaman resinosos/serotinous (*Pinus oocarpa*, *P. tecunumanii*). En ellos la resina forma un fuerte adhesivo entre las escamas que se traslapan. Sólo una alta temperatura derrite la

resina y permite a las escamas abrirse. Esto ocurre en forma natural durante las quemadas de matorrales o charrales. Por consiguiente, la mayoría de especies con este tipo de conos resinosos son especies pioneras.

Aunque las semillas de la mayoría de especies de *Casuarina* pueden extraerse secándolas al sol, algunas tienen conos resinosos que requieren temperaturas mayores en el horno para poder abrir.

Los conos resinosos de algunas especies de pinos (*P. brutia*, *P. halepensis*, *P. contorta* y *P. radiata*) pueden necesitar un tratamiento especial que induzca la apertura. Sumergirlos en agua hirviendo de 10 a 120 segundos (más de 10 minutos para lotes refractarios de semilla), seguido por una alta temperatura en el horno (75-80°C) ha sido efectivo en algunos casos.

En relación con esto, se debe recordar que en algunas especies como *Larix*, una alta temperatura impide la apertura del cono. En este caso el derretimiento de las resinas naturales del cono daña la capacidad higroscópica de las escamas.

La apertura completa del cono se puede inducir en algunas especies resinosas o semi resinosas secando, remojando y secando de nuevo.

Antes de aplicar una alta temperatura a un lote de semillas de una especie *nueva*, es necesario establecer la temperatura máxima tolerada a diferentes contenidos de humedad sin perder la viabilidad. Esto se hace realizando ensayos con muestras de semilla.

El uso de detergentes puede ayudar a abrir conos resinosos si se usan sin afectar la viabilidad y la longevidad de las semillas.

**Tambores rotativos:** Cuando los conos abren, algunas semillas se salen mediante sacudidas manuales o en hornos con tambores rotativos. Pero muchas se quedan dentro del cono. Estas deben extraerse sacudiendo el cono inmediatamente después de completar el secado porque los conos abiertos expuestos al aire húmedo y frío pueden cerrarse en un corto tiempo.

Pueden sacudirse manualmente o bien frotando uno contra otro. En especies donde la semilla sale fácilmente, puede hacerse utilizando una criba.

Normalmente la cantidad de conos a tratar justifica la inversión en un tambor rotativo mecánico. Este es un recipiente rectangular, cilíndrico o un tambor montado horizontalmente en su eje colocado en un pivote largo. Al girar el recipiente sobre el eje los conos se mezclan. Las semillas salen de los conos abiertos a través de un tamiz de cable de alta tensión, el cual forma los lados del tambor en una bandeja, una tolva o una lona.

Esta máquina se puede operar manual o mecánicamente. Algunas son cerradas en ambos extremos, pueden vaciarse y volverse a llenar al final de cada ciclo de operación. Una operación continua se puede lograr con un cilindro inclinado abierto en ambos extremos. Los conos entran por el extremo superior y durante la rotación ruedan lentamente hasta el otro extremo donde son descargados. La inclinación de la máquina determina el tiempo que los conos permanecen en el tambor. La velocidad determina el efecto del rodaje y de la rotación sobre los conos.

En la mayoría de especies las escamas de la base del cono abren primero. Cuando el cono está completamente abierto, las escamas abiertas de la parte superior del cono algunas veces impiden la caída de las semillas de las escamas próximas a la base. La producción de muchos conos puede por tanto incrementarse si se sacuden o se mueven frecuentemente durante el secado y no solamente al final de este período. Debe recordarse que la semilla de la parte superior del cono es más pequeña y a menudo infértil.

Si se extraen grandes cantidades de semilla de los conos, es necesario considerar el uso de un horno con tambor rotativo. Esencialmente esto es colocar un tambor rotativo más bien grande dentro de un horno. El límite máximo práctico es alrededor de 1000 kg de conos maduros por lote. Al abrir se expanden el doble por lo que el cilindro debe tener una capacidad de almacenamiento en volumen tres veces mayor que el del lote. El cilindro debe tener una rotación continua de 0.5 revoluciones por minuto (rpm) y posibilidades de mayor velocidad de rotación (Ej: 5 rpm) para desalojar toda la semilla. Esta debe retirarse del fondo del horno tan pronto como sea descargada. En esta clase de horno no es posible recircular el aire; pues la continua rotación suelta mucho polvo el cual puede presentar riesgo de incendio si ha recirculado por la unidad de calentamiento.

Las semillas de algunas especies semi-resinosas pueden mantenerse pegadas a los conos y es necesario revolverlas durante un largo período para extraerlas. Después de extraer la semilla que se separa al revolverla o batirla por primera vez, estos conos pueden remojarse hasta que cierren y luego secarlos de nuevo. Esto puede, bajo algunas circunstancias, promover la apertura completa de las escamas. Para otras especies, la única posibilidad de obtener hasta la última semilla es quebrando el cono después de obtener lo que sea posible manualmente o revolviendo mecánicamente.

Si se utilizan velocidades extremas de rotación o si la máquina se llena con demasiados conos pueden causarse daños mecánicos a las semillas. La velocidad de rotación y el tiempo que dure el tratamiento deben adaptarse a las características de los conos y semillas de cada especie.

**Eliminación de las alas:** Todas las semillas cuya dispersión depende de ser transportadas por corrientes de aire tienen alas. Se elimina el ala o parte de ella, sin dañar la semilla, con el fin de reducir el volumen durante el almacenamiento y facilitar la limpieza y la siembra.

Desde un punto de vista mecánico las semillas con alas pueden dividirse en dos grupos:

- El ala es un apéndice ligeramente unido a la cubierta de la semilla y está prevista su caída.
- El ala es parte de la cubierta y permanece unida a la semilla durante la germinación de no ser depredada o desintegrada.

Los métodos para quitar las alas varían de acuerdo con las especies, algunos ejemplos de los dos grupos se mencionan a continuación:

En el primer grupo las alas desaparecen al caer la semilla y permite que ésta penetre en el suelo a través de una cubierta de césped, logrando buenas condiciones para su germinación. Un ejemplo de este grupo son las especies de pino.



Figura 3. Semillas de pino con alas.

El ala se adhiere alrededor de la semilla. El cono abre y dispersa las semillas en un clima seco y ventoso. Cuando inician las lluvias, el ala con una superficie amplia y una masa pequeña absorbe el agua más rápido que la semilla. Así como el cono abre y cierra de acuerdo al contenido de humedad, el ala es higroscópica y pierde su adherencia a la semilla al aumentar su contenido de humedad. De esta manera las semillas de pino aseguran su llegada al suelo una vez que las condiciones son favorables para su germinación.

Método para eliminar las alas de las semillas de pino. La semilla está seca al extraerse del cono, usualmente con un contenido de humedad del 10-14%.

- a) Las semillas permanecen de 10-15 minutos en el proceso de quitar las alas en seco en una mezcladora de concreto. Allí pierden parte de las alas y se minimiza el consumo de agua en las etapas siguientes del proceso.
- b) La mezcla se pasa por una máquina limpiadora tamiz-aire, donde se quitan las partes de las alas y otras impurezas absorbentes.
- c) Si las semillas aún conservan parte de las alas se les quitan humedeciéndolas en una mezcladora de concreto:  
Durante la rotación se pone agua con un mini-aspersor entre 5-10% del peso. La mezcladora se deja rotar alrededor de 15 minutos con una corriente de aire caliente lo suficientemente fuerte para sacar sólo las partes de las alas y dejar las semillas. Las semillas no deben calentarse a una temperatura superior a la máxima de secado, aunque el aire debe ser lo suficientemente caliente para mantener su contenido de humedad original.
- d) Inmediatamente después la semilla es secada (en un horno) al contenido de humedad apropiado para su almacenamiento. Muchas especies de pino inician la germinación en 24 horas si su contenido de humedad es lo suficientemente alto. Por eso es de fundamental importancia secar las semillas después de quitar las alas con el método húmedo.

La cantidad de agua necesaria para ablandar las alas varía pero puede ser constante para algunas especies. Para minimizarla, debe aplicarse con un mini-aspersor durante unos cinco minutos para asegurar una distribución equitativa en las semillas. Un aspersor portátil a presión, de los usados en agricultura, permite medir la cantidad de agua a utilizar.

En el segundo grupo, cuando el ala es parte de la testa, es necesario quebrarla para eliminarla. Por regla general el ala puede quitarse cuando es más grande que la semilla.

El método depende de la susceptibilidad de la semilla al daño durante esta operación y de las propiedades físicas de la semilla y del ala. El desalado mecánico, si se hace descuidadamente, puede causar daños al triturar, romper o desgastar las semillas.

La mayoría de los desaladores mecánicos son instrumentos de rotación en los cuales las semillas son presionadas por cepillos, almohadillas o taladros contra las paredes del cilindro; o por perillas de rotación o almohadillas que presionan la semilla a pasar por pequeños agujeros que retienen las alas. Si la separación entre las perillas o cepillos es muy pequeña, la semilla puede dañarse.

Las máquinas desaladoras varían desde las manuales hasta equipo semiautomático el cual garantiza una salida continua de semilla.

En las mezcladoras de maíz o de concreto al rotar las semillas con alas, son presionadas unas contra otras y si es necesario, y posible, sobre materiales extraños como pequeños bloques de madera hasta que se rompan las alas.

Pequeñas cantidades de semillas pueden ser desaladas manualmente, ya sea frotándolas entre las manos, contra una criba, contra superficies rugosas o frotándolas en una bolsa de tela en forma manual.

Antes de adoptar un procedimiento estandarizado para tratar las semillas de este grupo, debe compararse la viabilidad y especialmente la longevidad de las semillas tratadas con las de un lote sin tratar.

### Frutos - Extracción en seco

Este es un grupo muy diverso. Algunos ejemplos son los folículos que se abren de un lado hacia abajo, las vainas de las leguminosas que se abren por ambos lados y las cápsulas de los *Eucalyptus* que se abren por tres o más lados.

Desde el punto de vista de la extracción, los frutos pueden dividirse, en los verdaderos dehiscentes que se abren y expulsan las semillas cuando se secan, y los indehiscentes que se mantienen cerrados aún después de secar.

No existe una marcada línea divisoria entre estos grupos. Algunas especies abren fácilmente al secar si se recolectan en el punto exacto de maduración; pero si se recolectan inmaduras o se secan muy rápido, la semilla debe ser desgranada o separada del fruto después de secar para extraer la semilla. Existen grandes diferencias entre grupos. Algunas semillas pueden extraerse frotándolas suavemente o sacudiéndolas, mientras que otras necesitan un tratamiento mecánico fuerte.

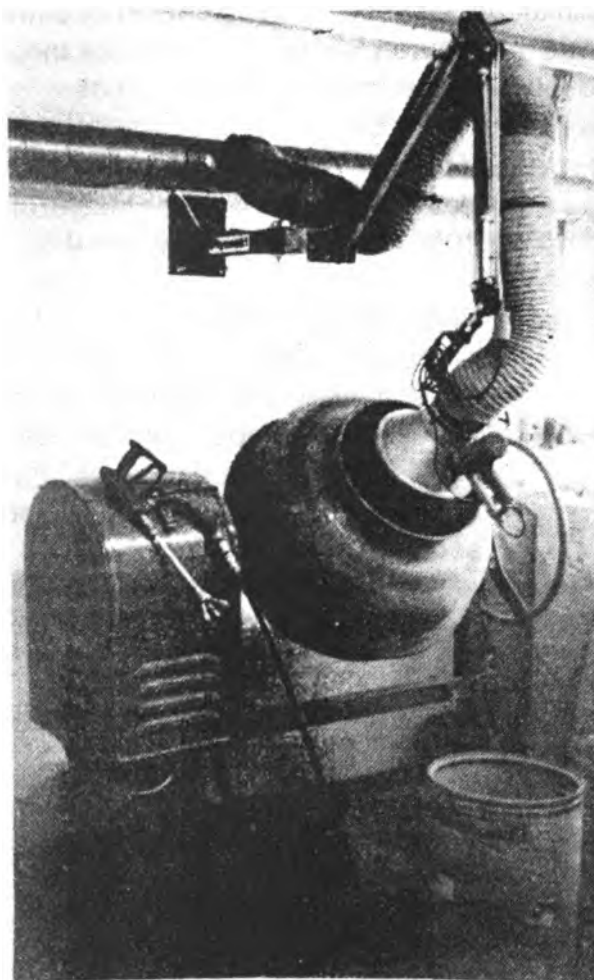


Figura 4. Mezcladora de concreto utilizada para el desalado.

En algunos casos, la única opción es extraer a mano cada semilla. Si este proceso resulta muy laborioso y sin posibilidades de mecanización, puede considerarse la posibilidad de almacenar y sembrar los frutos secos.

**Secado:** Antes de iniciar el secado, la semilla debe estar madura. El secado de frutos inmaduros puede desarrollar *endurecimiento*, (Stubsgaard y Baadsgaard, 1989).

Si los frutos se han recolectado inmaduros, deben secarse un poco durante el precurado o después de madurar. Algunas especies sensibles sólo necesitan un secado moderado a la sombra antes de la extracción. En general, las semillas de especies latifoliadas son dañadas más fácilmente por sobrecalentamiento que las coníferas, por lo que debe evitarse su exposición prolongada a la luz solar directa. Si la especie es dehiscente, deben tomarse medidas para prevenir la pérdida de semilla durante el precurado.

En el trópico, los frutos de la mayoría de las especies ortodoxas se secan al sol y al aire libre, mientras que la mayoría de las especies autóctonas maduran en la estación seca. El secado se realiza generalmente en pisos de concreto, lonas o zarandas con malla de alambre.

Los frutos de las especies ortodoxas que maduran durante la estación lluviosa y los frutos que son transportados a un sitio de extracción en clima húmedo, deben secarse con frecuencia al aire donde la humedad relativa ha sido reducida artificialmente.

La naturaleza y la extensión del daño mecánico causado a las semillas al separarlas de los frutos es influenciado por el contenido de humedad. Si la semilla está muy mojada, puede triturarse y los tejidos se magullan; si está muy seca está propensa a despedazarse. No existen datos exactos para las semillas forestales, pero pueden hacerse comparaciones utilizando el siguiente resumen sobre cosechas agrícolas:

En cereales de granos pequeños (trigo y arroz) el daño mecánico se minimiza al desgranar con un contenido de humedad de 17-20%. Las semillas aceitosas, como el maní, el sésamo y la linaza, son más susceptibles que los cereales y su contenido de humedad debe ser menor. La soya es sensible a daños si su contenido de humedad es superior al 15% o inferior al 13%.

Los frutos dehiscentes generalmente están suficientemente secos para ser desgranados o revueltos cuando abren espontáneamente. La mayoría de las semillas extraídas a la fuerza de cápsulas sin abrir y de vainas dehiscentes tienden a ser inmaduras o no viables.

Los frutos indehiscentes (y todos los tipos de semillas ortodoxas) son suficientemente secos para desgranar y para otras operaciones mecánicas cuando su cubierta es oscura y la semilla es blanca y tan dura que se requiere fuerza para hacer marcas



con las uñas. Las semillas con un alto contenido de aceite son más suaves y fáciles de magullar.

**Desgranado:** La vibración o sacudida de una máquina limpiadora puede ser suficiente para separar las semillas de los frutos secos en algunas especies dehiscentes. Otras necesitan ser agitadas antes de que las semillas salgan del fruto. Esto puede realizarse en un tambor rotativo para conos sellado por un cedazo que permita pasar a las semillas pero que retenga los frutos mayores. *Albizia falcataria*, por ejemplo se puede revolver por lotes en una mezcladora de concreto.

Algunos lotes pequeños de semillas pueden desprenderse sacudiendo un barril liviano o frotando una bolsa de tela entre las manos o golpeándola contra una pared o contra el piso, rastrillando o golpeando los frutos en esteras, lonas o zarandas, o simplemente golpeándolos unos contra otros.

Las especies más indehiscentes necesitan un tratamiento más fuerte. La mayoría de los métodos para desgranar incluyen algún tipo de golpe a los frutos para desprender las semillas de los frutos. Con pocas excepciones, los desgranadores agrícolas son los únicos disponibles en el comercio y trabajan bajo alguno de los siguientes principios:

- 1) **Desgranadores por golpeteo.** Los frutos se agitan en un tambor sobre una superficie cóncava (el puente) con un cilindro giratorio, de aluminio o barras golpeadoras de hule (picadoras). El puente o concavidad es perforado o tiene un tamiz que permite a las semillas pasar y una separación inicial de las semillas y fragmentar partes de los frutos. El desgranador se alimenta de un lado como se observa en la figura 5. Si se modifica un deshollejador o un martillo de moler en un desgranador por golpeteo, puede alimentarse por el eje.

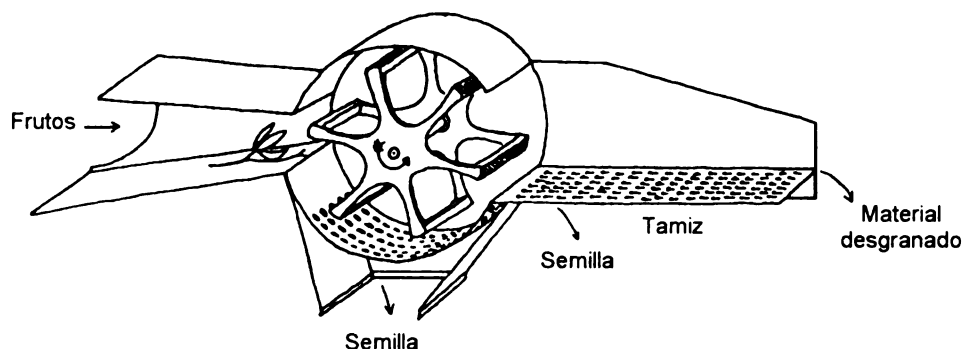


Figura 5. Principio de trabajo del desgranador por golpeteo

- 2) *Tambor desgranador con clavos*. Es esencialmente como el desgranador por golpeteo. El puente está montado con una fila transversal de clavos o cuchillos entre los cuales los clavos o cuchillos pasan montados sobre un tambor rotativo (tambor con clavos). Los frutos se despedazan entre los clavos. Las composteras trabajan con el mismo principio. Este diseño tiende a ser más severo al colar la semilla que el desgranador por golpeteo. Se recomienda realizar pruebas para evaluar la semilla dañada antes de implementar su uso.

Una variedad del tambor desgranador con clavos puede encontrarse en los desgranadores de arroz donde sólo hay un tambor con clavos. Aquí las partes que sostienen la semilla del cereal se mantienen en el tambor de clavos, el cual rompe los granos. Estos desgranadores normalmente no son adecuados para semillas forestales porque el operador debe sostener parte de la rama, y la semilla debe desprenderse fácilmente para que caiga de la rama antes de que lo hagan el fruto y las hojas.

- 3) *Molinos*. Algunas semillas como las de *Ganglions* o las especies de *Prosopis*, tienden a ser comidas por animales, por lo que están protegidas en el fruto y es casi imposible sacarlas de allí. Algunas veces pueden extraerse en molinos utilizados para productos agrícolas. Estos se deben ajustar con piedras o planchas de moler separadas entre sí a una distancia ligeramente mayor al tamaño de las semillas.

Otros molinos incluyen martillos de moler similares a los desholleadores o peladores, poseen un tambor con cámara interior acanalada donde los martillos rotan en forma de cruz. El tambor se alimenta alrededor del eje del martillo. Tienen un tamiz fuerte en el fondo por donde elimina el material pulverizado por los martillos. Estos molinos, en algunos casos, se utilizan para desgranar si la velocidad de rotación se reduce a 250-800 revoluciones por minuto y el tamiz exterior es reemplazado por uno con perforaciones que permitan pasar a las semillas. Algunas especies sensibles pueden ser desgranadas en un molino de estos rotando a una velocidad baja si los martillos son reemplazados por cepillos.

Los únicos desgranadores manufacturados especialmente para semillas forestales son el CSIRO 15 cm, desgranador por golpeteo y el de banda elástica, ambos diseñados para desgranar especies de *Acacia*.

El desgranador de banda elástica es un molino cónico manual donde las planchas metálicas se mantienen juntas por un resorte de carga ajustable. Este desgranador probablemente cause un menor daño a las semillas que los desgranadores por golpeteo. Su descripción se encuentra en Doran *et al.* 1983. No ha sido posible hacer contacto con su fabricante.

Como la demanda por desgranadores para semillas de árboles es limitada, y los lotes que se procesan son pequeños, si se comparan con los de semillas agrícolas, es conveniente desarrollar máquinas y métodos para la mayoría de especies, modificando y combinando la maquinaria y los materiales existentes, si se desea desgranar en forma mecanizada.

También puede utilizarse una mezcladora de cemento para desgranar. En esta el golpe puede ser regulado añadiendo diversos juegos de bloques de madera con diferentes pesos. En Sabán, Malaysia, las semillas de *Acacia mangium* son extraídas de las vainas secas haciéndolas girar por 10-15 minutos en una mezcladora de cemento junto a bloques de madera de 10x10x15 cm.

El separador Dybvig utilizado para pelar, macerar y escarificar también puede emplearse para desgranar semillas de algunas especies.

Los desgranadores mecánicos se deben ajustar para que trabajen eficientemente, en la velocidad de las golpeadoras y el ancho de la distancia entre estas y la concavidad. Si el desgranador incluye la función de prelimpieza, se debe ajustar el flujo de aire y el tamaño de los tamices. La salida debe mantenerse bajo observación para hacer los ajustes necesarios (buscando las semillas dañadas y frutos sin desgranar).

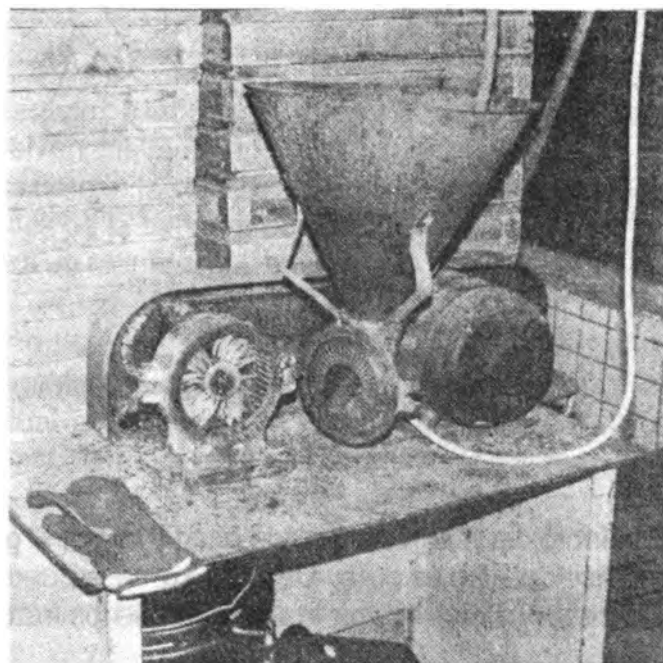


Figura 6. Molino de martillo equipado con cepillos

El desgranador mecánico es una fuente de contaminación. Al finalizar la operación, algunas semillas permanecen dentro y pueden introducirse en el siguiente lote. Las operaciones de limpieza deben por tanto realizarse como un asunto de rutina. Esto sólo se puede hacer abriendo, limpiando y examinando la maquina a fondo, hasta las partes de más difícil acceso. Las aspiradoras y las secadoras de aire comprimido pueden ser útiles.

Este problema puede evitarse, hasta cierto punto, si no se desgranar dos lotes diferentes de la misma especie sucesivamente (dos procedencias). Si el siguiente lote es de una especie diferente, la contaminación puede aparecer y eliminarse en el vivero.

Los métodos manuales tradicionales para desgranar incluyen golpear la cosecha seca con mayales o con varas delgadas. Los frutos secos se extienden en una plataforma, en una lona, en una estera de paja o de otro material apropiado. Los lotes pequeños pueden desgranarse en bolsas fuertes de lona.

Algunos animales como vacas, búfalos y asnos pueden utilizarse para desgranar volúmenes grandes. La cosecha seca se extiende y los animales son guiados para que caminen en círculos sobre ella. Las pesuñas aplastan los frutos y hacen brotar las semillas.

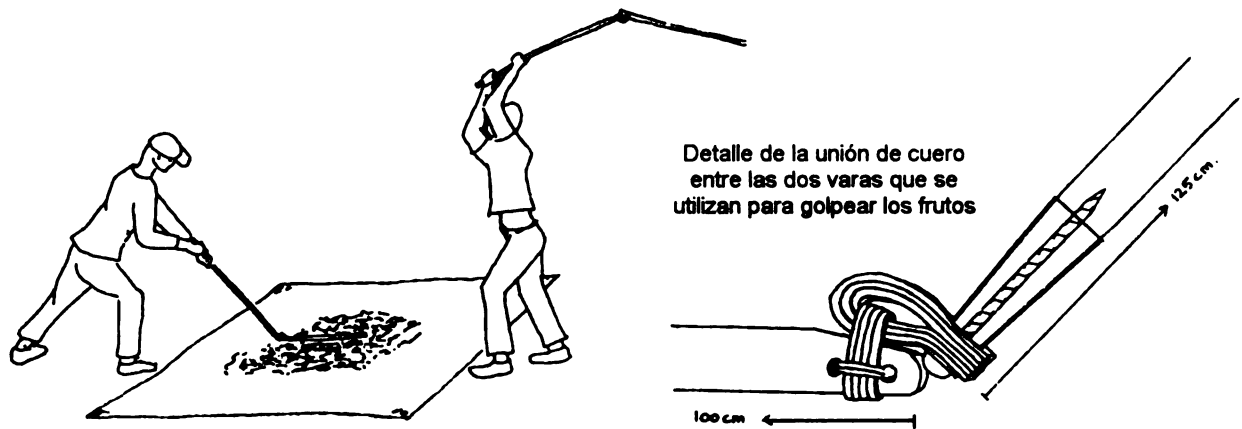


Figura 7. Mayal y su principio de trabajo

El efecto de desgranar puede ajustarse por el grosor de la capa de frutos, especialmente si la base del piso es dura. Una capa gruesa puede absorber el golpe del mayal y la presión de las pesuñas sin separar las semillas de los frutos.

El efecto de los métodos para desgranar en la viabilidad y longevidad de las semillas debe evaluarse antes de adaptar procedimientos estandarizados. El daño mecánico normalmente induce a un crecimiento anormal de las plántulas o a la pérdida temprana de la capacidad de germinación.

Si las semillas no son desgranadas correctamente pueden ocurrir daños mecánicos, porque como se sabe, la naturaleza y la extensión del daño están influenciadas por el contenido de humedad de la semilla. Un lote con alta humedad debe mezclarse a una velocidad baja para prevenir que las semillas se aplasten. Sin embargo, si la velocidad es muy baja, estas no se desprenden del todo.

Muchas *Acacias* sueltan un polvo irritante al ser separadas del fruto, por lo que el trabajador debe usar equipo especial para su protección.

**Desalado:** Las alas de los frutos secos son similares a las de las coníferas; el ala es parte de la cubierta de la semilla. El equipo, los métodos y las precauciones mencionadas son también apropiadas para las semillas aladas de otros frutos secos.

En este grupo se encuentran otros tipos de alas: alas de fibra sedosa o peludas como el kapok (algodón de la *Ceiba pentandra*) que puede despegarse al frotar las semillas cuando son forzadas a pasar por un tamiz.

Las semillas de *Ochroma* pueden separarse de la fibra sedosa colocándolas sobre un tamiz de alambre y quemando la fibra. Al quemar los frutos las semillas caen a través de la malla. Se obtienen buenos resultados cuando la fibra sedosa se extiende en una capa delgada para evitar daños a la semilla por el calor. Las semillas pasan por el tamiz directamente a un recipiente con agua. Este método se ha utilizado para limpiar semilla de *Populus* pero puede dañar más del 50% de las semillas de este género.

Las semillas de algodón pueden separarse de la fibra sedosa por el siguiente método: las semillas y la fibra sedosa se revuelven suavemente en un tazón con un batidor de huevos eléctrico. Después de cierto tiempo la semilla se recoge en el fondo con la fibra sedosa encima. La cruz metálica de la batidora puede sustituirse por alas de hule hechas con llantas de carro para un manejo más suave de la semilla.

**Separación:** El material desgranado usualmente se separa hasta cierto punto durante esta operación, ya sea a máquina la cual puede traer un juego de cribas y un ventilador; por un tambor rotativo el cual retiene la mayoría de las partes de los frutos; o en el caso manual utilizando un mayal, las partes más grandes de los frutos se entresacan antes de recolectar las semillas y las partes pequeñas de los frutos (apéndice 2).

En la mayoría de los casos una separación preliminar brusca puede facilitar el proceso de limpieza.

## **Frutos - Extracción y empaque de frutos carnosos**

Los frutos de muchas especies como *Azadirachta indica* y *Cinnamomum camphora* son fibrosos y carnosos. Algunas especies como *Vitex parviflora* se pueden secar y almacenar con la cubierta carnosa intacta, pero la germinación puede mejorar si son despulpadas. Otras como *Gmelina arborea* deben despulsarse al alcanzar la madurez para prevenir la pérdida de la capacidad germinativa (apéndice 1). Generalmente el almacenamiento seguro requiere la eliminación de la pulpa, la cual en algunos casos, contiene químicos que inhiben la germinación.

Cuando llegan frutos carnosos maduros en el sitio de extracción, deben procesarse todos de una vez para evitar fermentación y sobrecalentamiento. Aunque la fermentación ha sido considerada como una ayuda para el despulpado y para mejorar la germinación (probablemente por vencer la latencia impuesta por la testa) es recomendable evitarla, especialmente si las semillas se van a almacenar. Las semillas de los frutos que se han fermentado e iniciado la formación de ácido acético pueden estar severamente dañadas. A la vez, la cubierta de los frutos sobre-maduros comienza a marchitarse y se vuelve pegajosa. Esto dificulta su eliminación.

Los frutos que no han madurado son más problemáticos. Los frutos carnosos respiran activamente mientras maduran, por lo que deben tratarse cuidadosamente. Es común que abran al estar almacenados en bultos y el jugo inicia rápidamente el proceso de fermentación.

Durante el precurado, los frutos carnosos se deben almacenar en capas finas en bandejas de material no corrosivo y malla de alambre al fondo en capas delgadas en sacos de tela gruesa donde puedan respirar y el jugo pueda escurrir. Deben tener una circulación adecuada de aire y mantenerse tan frescos como sea posible (algunas especies recalcitrantes no toleran una baja temperatura).

Los frutos carnosos maduran cuando la piel ha cambiado de verde a otro color y la pulpa se vuelve más suave.

Casi todos los métodos de despulpado requieren el uso de grandes cantidades de agua corriente y maceración; por ejemplo una abrasión más o menos suave para separar las semillas de los frutos.

Los tamices y las cribas son muy utilizados en el procesamiento con agua de frutos carnosos. Generalmente, éstos contienen algún ácido que puede causar corrosión en las partes metálicas. Esto es un problema especialmente al usar tamices de tejido fino, los cuales a menudo se desintegran en una temporada. Por consiguiente, el equipo debe ser preferiblemente de acero inoxidable, bronce, cobre, zinc o plástico, o estar galvanizado o cubierto por algún material inoxidable.

Desde el punto de vista de la extracción, los frutos carnosos se dividen en dos grupos:

- 1) Frutos carnosos con endocarpos (hueso) *drupas*. los cuales contienen un endocarpo con una semilla. El endocarpo se almacena y se siembra entero ya que es difícil abrirlo sin dañar la semilla. Los de algunas especies contienen hasta cinco semillas. Estas se siembran y las plántulas se trasplantan una vez que el endocarpo abre. Algunos ejemplos son *Prunus spp.* (1 semilla) y *Melia azedarach* (4 semillas).

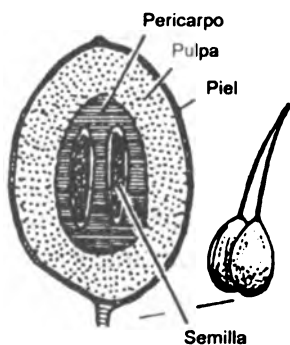


Figura 8. Fruto carnoso con endocarpo

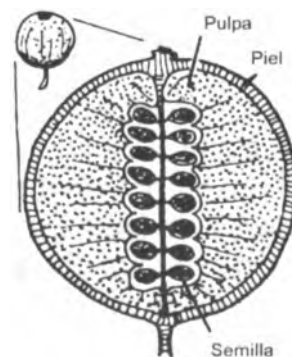


Figura 9. Fruto carnoso sin endocarpo

- 2) Frutos carnosos sin endocarpo (hueso) bayas, contienen por lo general muchas semillas embebidas dentro de la parte carnosa sin protección. Por ejemplo las bayas, los pomos (manzana) y los frutos de los cítricos (naranja).

**Remojado:** Consiste en colocar las semillas en un recipiente abierto con agua hasta que están suaves y húmedos. En algunos casos la imbibición se toma como una etapa más del procesamiento.

El tratamiento con agua debe continuar hasta que, por experiencia, los frutos están suaves para su manejo en la despulpadora. Usualmente esto toma de uno a dos días.

El romper la piel de los frutos, frotándolos unos contra otros antes de remojarlos, puede ser de ayuda. Los pomos normalmente se aplastan con suavidad antes de remojarlos, otros frutos carnosos se colocan directamente en el agua. Puede ser agua fría o caliente dependiendo de la rapidéz con que se desee realizar el proceso y de qué tan duros (inmaduros) están los frutos. El agua caliente contiene menos oxígeno y debe cambiarse con mayor frecuencia. Los frutos remojados no deben dejarse fermentar excesivamente y el remojado no debe, bajo ninguna circunstancia, volverse anaeróbico.

En algunos casos se añade lejía al agua para facilitar que la piel y la pulpa de los frutos se suavicen. Puede utilizarse nitrato de calcio o urea. Los químicos se distribuyen sobre la fruta colocada en una capa delgada en mallas de alambre, en una proporción 300 g por 100 kg de frutos. Estos se humedecen ligeramente y se dejan en un sitio fresco, a la sombra y bien ventilados alrededor de 14 días. El nitrato acelera la descomposición de la pulpa. Deben tomarse las precauciones mencionadas sobre la fermentación y evaluar el efecto del tratamiento sobre la capacidad germinativa.

**Maceración:** El equipo y los métodos para despulpar varían mucho entre países y de una planta procesadora a otra. Se trata de machacar la pulpa y desprenderla en lo posible del endocarpo o de la semilla.

**Frutos con endocarpo:** Los endocarpos o huesos son por lo general resistentes, por lo que no debe ocurrir ningún daño a la semilla dentro, aún en tratamientos relativamente fuertes.

En América se usa ampliamente el *separador Dybvig*, diseñado siguiendo el principio de una despulpadora de café. Básicamente consiste en un plato giratorio en el fondo de un cilindro que se alimenta desde arriba. El espacio entre el plato y el

fondo del cilindro, por donde sale la pulpa de la máquina, puede ser ajustado. Hay un orificio de salida que puede abrirse al final de cada operación para desalojar los endocarpos.

En Europa la *Leonhardt Passiermaschine* diseñada para recolectar pulpa de frutos es ampliamente usada en la industria de alimentos. Para semillas forestales trabaja en el sentido contrario al diseño original: la pulpa se descarta, y los frutos y las semillas restantes son retenidos. Luego son separados en un tamiz con agua o en el proceso de limpieza cuando están secos.

El despulpador de café modificado, (apéndice 1), también se utiliza para machacar frutos carnosos. Es idéntico al macerador del Servicio Forestal.

El molino de martillo (fig. 6) equipado con cepillos y a una velocidad baja es útil para lotes pequeños de semilla con relativamente pocos endocarpos. Se puede utilizar también para machacar algunas especies sensibles, si la velocidad es suficientemente baja.

Las máquinas mencionadas serán más efectivas si se asperjan constantemente con aguas. Todas ellas pueden ser alimentadas constantemente con frutos, excepto el separador Dybvig.

Pequeñas cantidades de frutos con semillas carnosas pueden a menudo ser maceradas en un tazón con una batidora eléctrica. Esta podría ser menos abrasiva si las planchas de batir se reemplazan por planchas *hechas en casa* con hule de llanta de carro.

Las mezcladoras de concreto con piedras, grava o bloques de madera, o las picadoras de alimentos, los molinos de sidra, las prensas para vino, las peladoras de papas y otro equipo procesador de la industria de alimentos también se utiliza para extraer semilla de frutos carnosos, pero ninguno se emplea extensamente.

Los lotes pequeños pueden limpiarse manualmente:

- amasando los frutos bajo el agua,
- prensándolos o frotándolos entre tablas de madera,
- pisándolos en una batea o tina,
- colocándolos en una bolsa de lona con igual cantidad de rocas afiladas más pequeñas que los - endocarpos, y retorciendo la parte exterior de la bolsa bajo el agua,
- frotándolos contra tamices con cepillos manuales y agua de una manguera (el tejido de la malla debe ser más pequeño que los endocarpos).

Las semillas también se pueden lavar con agua para eliminar la pulpa. Los frutos se ponen en una bolsa de malla o en una canasta de alambre bajo una corriente de



agua de un tubo de alta presión hasta que toda la pulpa y la mayoría de la piel se eliminen.

**Frutos sin endocarpo:** La separación es similar a la de los frutos con endocarpo, pero debe hacerse con más cuidado, ya que la semilla no está protegida por el endocarpo.

Diferencias y precauciones:

- antes de sumergir los frutos en agua y macerarlos, puede ser útil pelarlos a mano (higos y naranjas);
- no debe permitirse su fermentación, ya que la semilla puede debilitarse rápidamente;
- la maceración debe realizarse suavemente, para que no dañe la cubierta de las semillas.
- No deben utilizarse métodos abrasivos que incorporen rocas, etc.

Debido a la pequeñez de las semillas de *Anthocephalus chinensi* (2.6 millones por kg), se requiere una técnica especial para su extracción del fruto. La porción exterior del fruto, la cual contiene las semillas, se frota suavemente contra una criba metálica de 12.5 mm. La mezcla de semillas y pulpa que pasa por la criba se coloca en una caja con otra criba de 1.5 mm en el fondo. Se coloca agua sobre la mezcla mientras se frota cuidadosamente con la mano, las semillas y parte de la pulpa atraviesan la criba y caen en un recipiente con agua. Las semillas se hunden mientras la pulpa flota. Si la pulpa aún contiene semillas, se repite la operación.

**Lavado: Frutos con endocarpo.** Una vez que la pulpa se machaca, puede separarse del endocarpo por uno de los siguientes métodos:

El más simple es escurrir el agua y escoger los endocarpos manualmente.

Se pueden limpiar grupos pequeños revolviendo la mezcla en agua, de tal forma los endocarpos se hunden y el resto de la pulpa se mantenga a flote. Entonces la pulpa puede ser recogida. Esto también puede realizarse con un balde o cubeta honda donde el agua se hace rotar usando un chorro de agua lento de una manguera. Con la presión y dirección del agua correctas, la pulpa sale por el borde de la cubeta. La pulpa también puede ser eliminada en una criba tan pequeña que retenga los endocarpos, ya sea bajo un chorro de agua o utilizando una manguera. Estos deben lavarse cuidadosamente después de la separación. Si se encuentran pedazos de pulpa se debe repetir la maceración y los endocarpos deben lavarse nuevamente hasta que estén limpios. En muchas especies aún los residuos remanentes de pulpa disminuyen la germinación.

El método mencionado para la maceración a base de agua de un tubo de alta presión también puede servir para lavar y enjuagar las semillas.

Otra posibilidad es secar los endocarpos con residuos de pulpa, y en algunos casos de cascarillas y luego escarificarlos. El separador Dybvig o un deshollejador de café (anexo 1) pueden usarse para escarificar en seco. Los endocarpos se frotran unos contra otros hasta que los residuos de pulpa y las cascarillas caen. Otras máquinas que se pueden usar para escarificar en seco son las peladoras de papas y las mezcladoras de cemento, si es necesario con grava afilada o arena, la cual puede ser tamizada más adelante.

**Frutos sin endocarpo.** Si las semillas son pequeñas, deben tamizarse con cuidado para evitar lavarlas. La separación de la pulpa puede hacerse con una criba un poco más grande que la semilla presionando suavemente de manera que la piel quede y la semilla caiga en otro recipiente.

Las semillas deben lavarse muchas veces para eliminar cualquier materia gelatinosa que a menudo las cubre.

Los métodos abrasivos como el separador Dybvig no pueden ser utilizados para limpiar semillas sin endocarpo.

El lavado puede eliminar algunas semillas vanas, ya que tienden a flotar. Sin embargo, se debe tener cuidado con algunas semillas llenas que pueden flotar por tener burbujas de aire adheridas.

**Secado:** Aunque las semillas y los endocarpos de los frutos carnosos estén limpios aún conservan un alto contenido de humedad. Antes del proceso de limpieza deben secarse a un contenido de humedad adecuado para el almacenamiento o el transporte. Esto facilita la limpieza y la selección, puesto que los residuos de otros materiales no se pegarán a las semillas secas, y las semillas vanas perderán más peso que las llenas.

Los procedimientos de secado para semillas con frutos carnosos no difieren de las de otras semillas. El apéndice 1 describe un sistema de secado y extracción para las nueces de *Gmelina arborea*.

Algunas especies carnosas son recalcitrantes. Ellas deben también mantener un contenido de humedad apropiado, si no se siembran inmediatamente.

## Otros tipos de frutos

Algunos frutos son la combinación de los tipos ya mencionados. Un tipo común consiste en un pericarpo carnoso, el cual abre cuando está relativamente seco, las semillas expuestas tienen una capa de gelatina (arilo) alrededor de ellas; Ej. *Michelia champaca* en Nepal. Estos frutos deben dejarse abrir en forma natural, extraer las

semillas a mano y lavarse cuidadosamente con agua. Si la cubierta carnosa es aceitosa, puede usarse un poco de detergente para ayudar a limpiarlas y luego enjuagarlas. Otro tipo común es el de frutos formados por agregados de frutos más pequeños de las clases descritas tal como *Morus alba*.

Otro ejemplo es el fruto de *Ficus*. Aquí la parte carnosa es una base a la cual se adhieren las flores del interior. Cada flor femenina forma una pequeña nuez con una semilla dentro. Los higos pueden procesarse como frutos carnosos sin endocarpo cuando la semilla ha sido pelada manualmente.

### **Especies recalcitrantes**

Estas se diferencian de las ortodoxas en dos formas: las semillas mueren si su contenido de humedad o la temperatura de almacenamiento bajan demasiado. Muchas tienen un período de vida corto aún en condiciones óptimas.

Casi todas las especies recalcitrantes tropicales se encuentran en el trópico húmedo o maduran durante la estación lluviosa. Bajo condiciones naturales la semilla empieza a crecer inmediatamente después de la dispersión y algunas veces germina aún en los árboles.

Para la mayoría de estas especies recalcitrantes existe muy poca información relacionada con el contenido de humedad y las temperaturas más bajas toleradas por cada una, o el período promedio de viabilidad bajo estas condiciones. El período promedio de viabilidad es el tiempo durante el cual el porcentaje de germinación baja de 100 a 50% (Stubsgaard, 1992).

Como resultado de esto, un lote de semillas recalcitrantes muere entre la recolección y la siembra, por lo tanto raras veces se utilizan en la reforestación excepto localmente.

Al manejar semillas de especies recalcitrantes deben tomarse las siguientes precauciones:

**Planificación:** El período entre la recolección y la siembra debe ser lo más breve posible. El transporte y la extracción deben planificarse cuidadosamente, el vivero debe estar preparado para recibir y sembrar las semillas.

**Ventilación y contenido de humedad:** Las semillas recalcitrantes (y sus frutos) respiran activamente, por lo que requieren buena ventilación. No es fácil acertar el balance correcto entre ventilación adecuada y mantenimiento del contenido de humedad.

**Temperatura.** Las temperaturas menores de 20°C o mayores de 35°C deben evitarse. Las temperaturas altas se deben a la transpiración o al calentamiento

directo del sol. Una buena ventilación reduce el calor producido por la respiración. Estas semillas deben mantenerse alejadas de la luz solar.

**Investigación.** Si las especies son para reforestación es recomendable conocer sus limitaciones. Un perfil de un esquema de investigación puede plantearse así:

- a) Encontrar el contenido de humedad más bajo tolerado por la especie.
- b) Definir la temperatura más baja tolerada por la especie. Pueden encontrarse interacciones entre la temperatura y el contenido de humedad en esta fase.
- c) Establecer el período de viabilidad bajo condiciones óptimas de almacenamiento.

Una especie que parece ser recalcitrante puede convertirse en una especie *difícil*. Un ejemplo es la que puede secarse bajo la temperatura correcta. Otro ejemplo es aquella que puede ser secada si la semilla se recolecta antes de su maduración y dispersión natural.

Si el fruto de una especie recalcitrante es carnoso, la pulpa puede quitarse; de otra manera se debe limpiar como se describió en los capítulos 3 y 4 con la reserva de que las semillas no deben secarse bajo rangos de humedad inferiores a los establecidos y de que deben procesarse tan rápido como sea posible.

## LIMPIEZA Y SELECCION

Después de extraer las semillas de coníferas aún están mezcladas con alas sueltas, basura y polvo. Las semillas extraídas de los frutos secos quedan con partes de los frutos y polvo. Las semillas secas extraídas utilizando agua contienen fragmentos de pulpa o de testa.

El paso siguiente consiste en separar las semillas de la materia inerte: basuras, ramillas, partes de frutos, polvo, alas y piedras. El proceso de separación ayuda a seleccionar (mejorar) el lote, al eliminar las semillas vanas, dañadas y no deseadas.

Después de la limpieza y selección el lote de semillas debe, idealmente, consistir de semillas sanas del lote original con el menor número de impurezas.

En la planta procesadora, la limpieza es un punto cardinal por el cual pasan la mayoría de lotes. Al mismo tiempo, junto al secado y almacenamiento, es uno de los procesos donde se puede ganar o perder en términos de la calidad de la semilla. Por tanto se debe observar cuidadosamente todo el proceso de separación, familiarizarse con los principios de trabajo de las máquinas limpiadoras y se deben entender los ajustes mínimos que estas podrían

necesitar para mejorar el proceso. Esto se aplica tanto para la eliminación manual del material indeseable como para controlar una máquina limpiadora avanzada.

Las fracciones descartadas deben revisarse constantemente ya que un lote de semillas puede perderse si se elimina junto con los residuos.

Al realizar la selección, la proporción de las semillas sanas de cada fracción también deben evaluarse continuamente. Esto puede hacerse mediante el corte de muestras de semilla.

La limpieza requiere de las siguientes operaciones sucesivas: 1) acondicionamiento o prelimpieza, 2) limpieza básica, y 3) separación y selección. Podría ser que no todos los lotes pasen por las tres etapas. Esto depende de la cantidad de material indeseable y de su naturaleza; si un lote está lo suficientemente limpio después de desgranar, puede ir directamente a la limpieza básica.

- 1) El propósito de la prelimpieza es facilitar el flujo de semillas a través de las máquinas limpiadoras en las etapas siguientes. Esto se logra eliminando la mayoría del material voluminoso y de desechos que puedan obstruir las cribas y los embudos de alimentación. Esto se hace muchas veces en conexión con la extracción, por ejemplo, quitando las alas con aire, reteniendo los frutos en un tambor rotativo, separando las semillas desgranadas, rastrillando las partes de los frutos después de desgranar o escarificando los endocarpos de los frutos carnosos e indehiscentes en un separador Dybvig o en un despulpador de café.

La prelimpieza es un proceso rápido y brusco; consiste en eliminar el material liviano utilizando presión de aire y/o desviándolo, o recolectando manualmente las piezas grandes. Algunas veces puede realizarse pasando el lote de semillas por una máquina limpiadora con una criba brusca al iniciar la operación.

- 2) La limpieza básica consiste de tres procesos: 1) las piezas mayores de las semillas que quedan retenidas por una criba con perforaciones un poco más grandes que la semilla. Esto se conoce como separación preliminar, 2) las piezas más pequeñas se pasan a través de una criba con perforaciones más pequeñas que la semilla. 3) La fracción intermedia restante contiene semilla y material inerte del mismo tamaño que puede separarse aplicando presión de aire ajustable. Estas operaciones se realizan con máquinas limpiadoras tamiz-aire como el limpiador de semillas. El orden de este proceso puede variar; en la figura 10 la separación con presión de aire se realiza después de que la semilla ha pasado por la segunda criba.

La limpieza básica también puede realizarse manualmente pasando un lote de semillas por una criba para retener las piezas grandes, luego por una segunda criba que no permite el paso de las partículas pequeñas y finalmente aplicando una corriente de aire para eliminar los materiales livianos.

En muchos países esta limpieza se realiza a mano recogiendo todas las piezas grandes tales como ramillas y hojas y eliminando el material remanente con presión de aire en

canastas planas propias para limpiar productos agrícolas como el arroz. En muchos casos esta limpieza es suficiente.

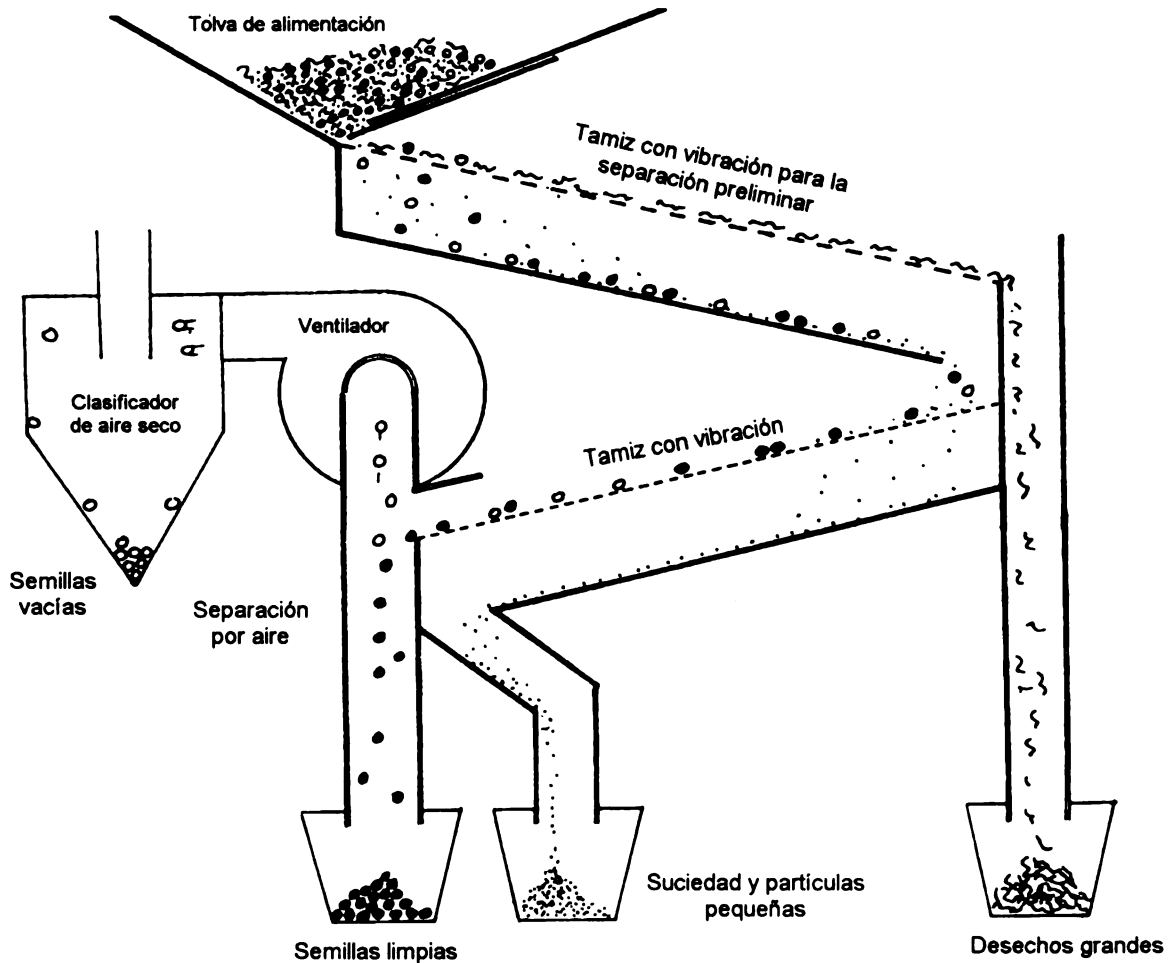


Figura 10. Corte transversal de una máquina limpiadora tamiz-aire

La semilla de *Eucalyptus* consiste de una mezcla de semilla y cascarilla. La dificultad para separarlas varía de acuerdo a la especie, el problema ocurre cuando ambas tienen peso, tamaño y color similares.

Los métodos mecánicos para separar la cascarilla de la semilla viable dependen de tamizar, soplar, utilizar presión de aire y técnicas específicas utilizando la gravedad.

- 3) Seleccionar es fraccionar el lote de acuerdo al tamaño, forma, densidad y color. Durante el fraccionamiento, las semillas quebradas, dañadas o defectuosas deben eliminarse. Su vigor ha sido reducido y su presencia puede influenciar la longevidad y el establecimiento en el campo.

La limpieza básica extrae todo lo que no es semilla pura de buen tamaño, viabilidad y longevidad. Esta puede quitarse con una combinación de cribas y una corriente de aire; para muchos lotes esto es suficiente. En algunos casos, sin embargo, quedan partes con tamaño, forma y densidad similares a los de la semilla pura y no pueden separarse de esta manera. En estos casos se utilizan otras máquinas y métodos para separar las fracciones por límites parecidos u otras características físicas.

Al extraer las semillas vacías, habrá una proporción de semillas sanas en la fracción descartada y una proporción de semillas vacías entre las sanas. No debe descartarse más de una porción aceptable de semillas sanas. Pueden realizarse cortes de prueba a las semillas desechadas para evaluar su viabilidad. La selección de lotes de semillas provenientes de un número limitado de individuos, se debe hacer cuidadosamente porque la escogencia puede propiciar la pérdida de la diversidad genética favoreciendo la semilla de ciertos padres.

Las cubiertas gruesas y pesadas así como los exocarpos; por ejemplo los exocarpos gruesos y esponjosos de la teca y los tubos del cáliz de las dipterocarpaceas deben eliminarse antes de la escogencia ya que las proporciones del fruto o del exocarpo no siempre ni necesariamente reflejan la viabilidad de la semilla que contienen.

La semillas, en algunas ocasiones se escogen de acuerdo al tamaño, para obtener una fracción del lote con una germinación simultánea y un alto porcentaje de germinación o vigor. Esto se hace si las ventajas de tener una fracción (semillas solas sembradas en macetas) compensan la posibilidad de una pérdida de la diversidad genética. Después de seleccionar un lote de semillas, cada fracción pasa a ser un lote separado con su propio número y mezcla separada, muestreo y resultados de las pruebas para cada lote.

Casi todo el equipo de limpieza y selección trabaja bajo uno o más de los siguientes principios: tamaño o forma de la semilla, velocidad de caída o velocidad del aire, gravedad específica, flotación en líquido o limpieza por fricción.

## Tamaño de la semilla

La semilla tiene tres dimensiones: largo, ancho y grosor. Al tamizar las dos dimensiones más pequeñas se determina el tamaño de las semillas que atraviesan el tamiz. Este puede estar formado por un plato plano con perforaciones redondas, oblongas o triangulares o por una tela de alambre entretejido.

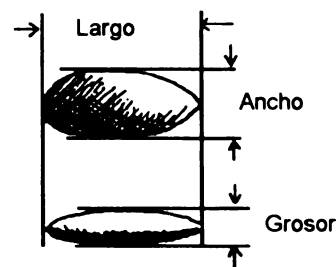


Figura 11. Las dimensiones de una semilla.

Para el procesamiento normal de semillas forestales, es necesario clasificar los tamices de acuerdo con el tamaño de las perforaciones o de la tela de alambre. Los de plato perforado se caracterizan por el tamaño de las perforaciones (pulgadas o mm), la forma y el porcentaje de huecos (porcentaje perforado del plato). Los de tela de alambre se caracterizan por el tamaño de las perforaciones en pulgadas o mm. Algunas veces se caracterizan por el número de hilos por pulgada, el tamaño de cada hueco es una pulgada dividida entre el número de hilos menos el grosor de uno de ellos.

Para la mayoría de las operaciones de procesamiento se recomienda contar con dos juegos de cribas; uno manual pequeño y otro que se adapte a una máquina limpiadora.

Las cribas manuales deben ser apilables para que sean utilizables con una vacía en el fondo sobre una mesa vibradora, la cual a menudo viene con el juego de cribas de prueba a mano.

Las cribas deben limpiarse continuamente. Esto se hace equipándolas con una segunda capa y bolas de hule en el medio. Los movimientos oscilantes de la criba hacen que las bolas la mantengan limpia. Otra posibilidad es tener cepillos o raspadores moviéndose constantemente de lado a lado.

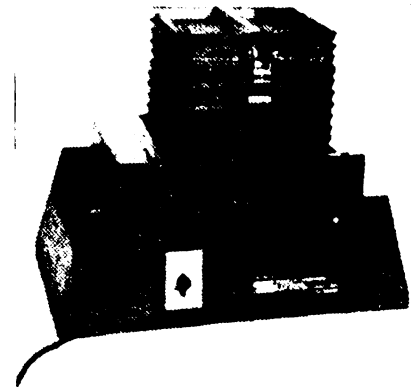


Figura 12. Cribas manuales utilizadas en una mezcladora

La semilla también puede ser clasificada por su longitud haciéndola pasar sobre una superficie acanalada donde sólo encaja la semilla de cierta longitud. Los canales suelen estar colocados en un cilindro o en un disco.

La versión cilíndrica consiste en un cilindro de rotación levemente inclinado en forma horizontal y un canal móvil para las semillas. Las semillas cortas o angostas caben dentro de los canales. La semilla se introduce por el extremo superior del cilindro y sale por el extremo inferior después de ser revuelta dentro del cilindro donde se eliminan las semillas y los materiales cortos.

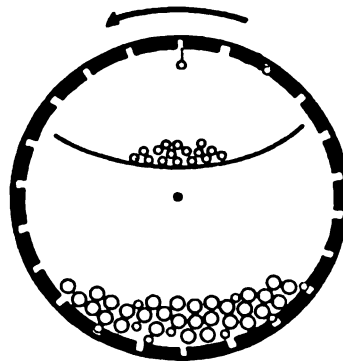


Figura 13. Corte transversal de un cilindro dentado.



## Velocidad de caída a través del aire

La velocidad de caída de cualquier objeto depende de su gravedad específica, forma, área de superficie y textura. Esto se usa ampliamente en la limpieza y selección de la semilla, soplando o utilizando un ventilador.

El soplado se basa en el principio de que cualquier objeto flota en una corriente de aire que asciende en forma vertical con suficiente velocidad.

Para la separación, se escoge una velocidad que haga que las partículas pesadas caigan y las livianas se levanten. El soplado de semilla se usa para la separación en gran variedad de máquinas. Las figuras 14 y 15 muestran como se usa esto en limpiadores de semillas por soplado.

Figura 14: se coloca un lote de semillas en la limpiadora por soplado. Cuando el ventilador eléctrico se prende y aumenta la velocidad del aire, la fracción de material liviano se eleva y es atrapada en las bolsas que se mueven lentamente detrás de los deflectores de la parte superior. El ventilador se apaga y las dos fracciones se separan.

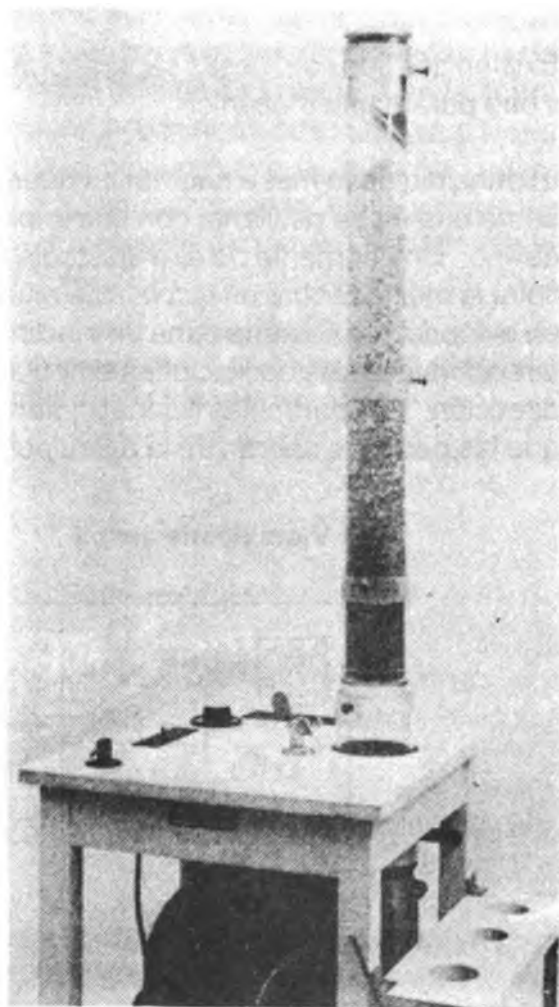


Figura 14. Limpiadora por succión de aire

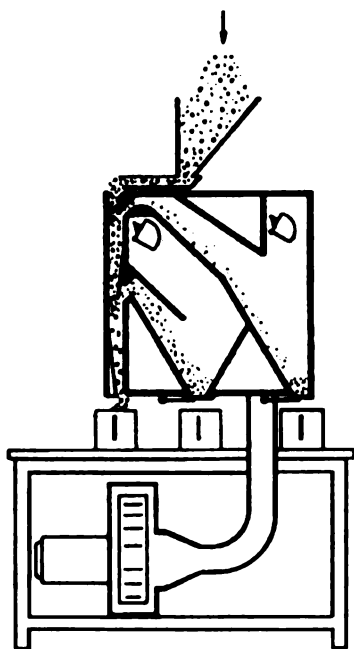


Figura 15. Limpiadora por succión de aire con alimentación continua

Figura 15: Se pueden conseguir limpiadoras de semillas por soplado más sofisticadas con posibilidades de alimentación continua y de separación en más de dos fracciones.

Aquí el soplado crea un vacío ajustable en las dos cámaras. El aire es succionado hacia las cámaras a través de la columna de separación.

## Gravedad específica.

Este método usa una combinación de peso, densidad y superficie; características de las partículas que se van a separar.

Existen dos tipos de mesas separadoras por gravedad: una que trabaja con aire (neumática) y otra puramente mecánica.

El principio de la mesa neumática puede describirse así: la mezcla de semilla se extiende sobre una mesa oscilante con una superficie porosa, puede ser una tela ajustada de tejido de lino. Una corriente de aire ajustable es forzada a pasar a través de la cubierta, haciendo flotar la mezcla sobre un *colchón de aire* donde será estratificada con las partículas pesadas en el fondo. La cubierta tiene una inclinación ajustable que hace que la mezcla flote en una dirección, pero las oscilaciones empujan las partículas pesadas al fondo de la capa en otra dirección. Las partículas livianas flotan sobre el borde de la mesa en un extremo, mientras que las pesadas caerán de la mesa por el otro extremo.

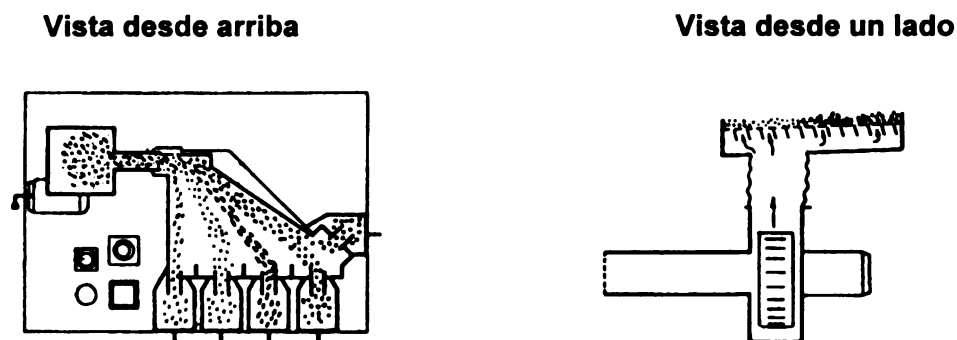


Figura 16. Principio de trabajo del separador por gravedad.

El separador por gravedad se usa para separar partículas de diferentes densidades pero del mismo tamaño o de diferentes tamaños pero de igual densidad. Una mezcla con diferencias en tamaño y densidad no se puede separar. Esta se separa de acuerdo al tamaño, utilizando cribas primero y las fracciones se separan luego de acuerdo con densidades en el separador por gravedad.

En los separadores modernos por gravedad neumática, se puede controlar la velocidad de alimentación, la inclinación de la mesa en dos direcciones, la velocidad y longitud de las oscilaciones y la fuerza del aire. La combinación de estos diferentes controles hace posible adaptar la máquina para manejar una amplia variedad de especies y de lotes de semillas.

La mesa separadora mecánica (por oscilación) es una mesa con secciones en zig-zag a ambos lados. La mesa se inclina en forma longitudinal y se sacude con movimientos bruscos de lado a lado. La semilla corre lentamente sobre el centro y tiende a deslizarse hacia abajo,

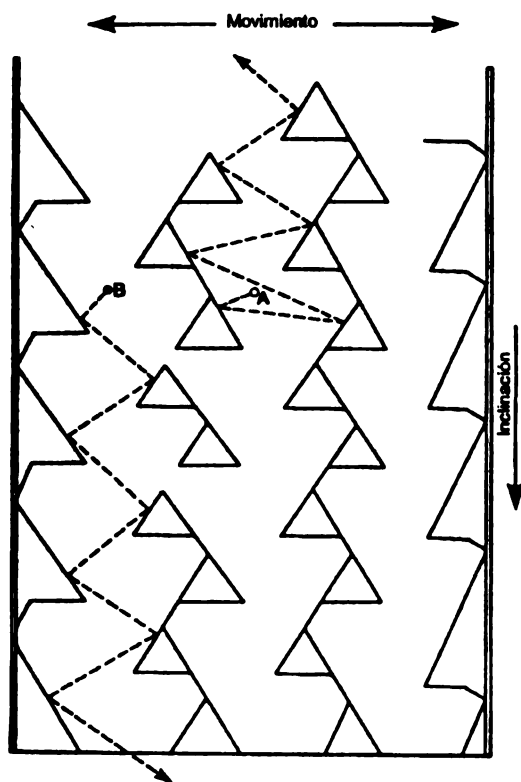


Figura 17. Mesa de separación oscilante.

pero es golpeada rítmicamente contra las divisiones por los movimientos laterales. Además de las fuerzas laterales, las semillas están sujetas a dos fuerzas una hacia arriba y otra hacia abajo de la pendiente - el impacto de las caras diagonales de las divisiones actúa hacia arriba y la gravedad hacia abajo. En el caso de semilla liviana (A en la figura 17), el impacto de la división es suficiente para tirarla hasta la diagonal opuesta, la cual le da otro golpe hacia arriba. La semilla por tanto tiende a moverse hacia arriba. En el caso de semilla pesada (B) la gravedad es suficiente, después del impacto, para llevar la semilla hacia abajo, de manera que pierde la diagonal opuesta y se golpea en la diagonal inmediata inferior.

## Flotación en líquido

Se utilizan dos métodos básicos para la separación por flotación:

**Método de densidad.** Se utilizan líquidos con una densidad o gravedad específica entre la de una semilla llena y la de una vacía para que las primeras se hundan y las vacías floten junto a las basuras livianas. Estos líquidos por supuesto, no deben ser peligrosos para las semillas.

El agua pura tiene una gravedad específica de 1.0 kg/l. Al añadir sal aumenta la densidad; 13.5 g de sal aumentan la densidad de un litro de agua 1% ( de GE 1.0 a 1.01). Añadiendo alcohol al agua, esta disminuye su densidad. El alcohol puro tiene una GE de 0.8 kg/l. Un 50% de alcohol tendrá una GE de 0.9 kg/l.

La gravedad específica de otros líquidos usados es normalmente menor a 1.0. El aceite de linaza tiene una GE de 0.93. Otros aceites de cocina tienen diferentes densidades dependiendo de su contenido. La GE de los aceites de cocina se encuentra fácilmente pesando 1 litro.

**Método de absorción utilizando agua.** Las semillas permanecen en agua hasta imbibir y hundirse. Inicialmente las semillas llenas y las vacías flotan. Después de un

período de secado, donde las semillas dañadas o infectadas pierden peso más rápido, se colocan de nuevo en agua. Las semillas llenas ahora son más pesadas y se hunden. El tiempo de secado puede variar de unos pocos minutos a muchas horas. Las semillas deben secarse otra vez después de separarse.

Para especies que aceptan un corto período de incubación antes de secar nuevamente; existe la posibilidad de incubarlas después de la imbibición (*Pinus contorta* 56 horas a 15°C, 100% HR y 1000 lux). Durante el secado las semillas tienden a perder agua en diferentes tasas dependiendo de su viabilidad, haciendo la separación en agua más efectiva. Esto se conoce como el método ISS de acuerdo a tres pasos principales en el proceso: Incubación-Secado-Separación. El método puede ser usado después de un largo período de almacenamiento para separar las semillas llenas que han perdido su viabilidad. Una desventaja de este método es que requiere un control muy estricto de la temperatura y de las condiciones de humedad si se desea diferenciar entre las semillas vivas y las muertas sin traer el efecto de pregerminación sobre las semillas vivas al estado de emergencia radical. Las condiciones de tratamiento óptimas varían de lote a lote, por lo que deben hacerse pruebas preliminares en cada caso.

En algunos casos al colocar las semillas secas en agua, las que están dañadas mecánicamente absorben el agua y se hunden mucho más rápido que las sanas. Este proceso puede ser refinado creando un vacío sobre el agua. Al eliminar el vacío el agua penetra rompiendo la cubierta de la semilla.

Estos métodos pueden combinarse para procesar diferentes especies. El problema siempre será lograr una diferencia lo suficientemente grande entre la gravedad específica (GE) entre las semillas llenas y las vacías.

### Limpieza por fricción

Los residuos con un tamaño y una densidad similares a los de la semilla no pueden eliminarse con las combinaciones tamiz-aire. Sin embargo, si tienen superficies con texturas diferentes, es posible eliminarlos aplicando limpieza por fricción.

Cualquier objeto que rueda o resbale sobre una pendiente encuentra cierta fricción dependiendo de su propia textura y la de la superficie. Si la pendiente tiene suficiente inclinación, el objeto continúa rodando y resbalando, si no la tiene se para.

Los residuos de la semilla se separan sobre

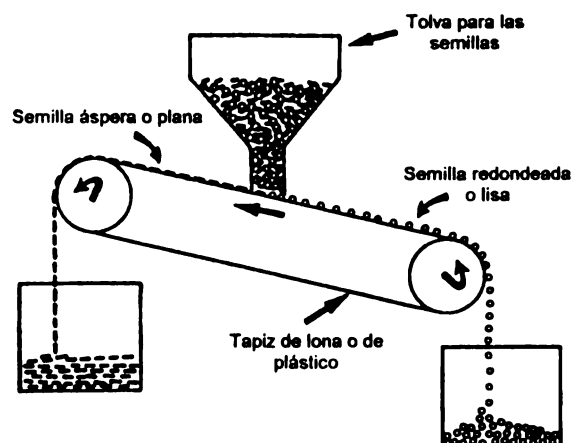


Figura 18. Separador de semillas inclinado.

una tela de terciopelo o una correa de hule con inclinación variable lo cual asegura que la pendiente necesaria para que corra la semilla es diferente de la pendiente necesaria para los residuos. La correa se mueve hacia arriba continuamente eliminando el material indeseado mientras que las semillas resbalan por la pendiente.

### **Otros principios de limpieza**

Otros métodos de limpieza se han utilizado experimentalmente, pero aún no son muy usados para semillas forestales. Estos incluyen separadores electrónicos y electrostáticos, separadores electrónicos de colores y separadores magnéticos que usan una mezcla de semilla con aserrín de hierro.

## **MANTENIMIENTO DE LA IDENTIDAD**

La identidad de un lote de semillas comprende toda la información relacionada con el lote: fuente y fecha de recolección (Stubsgaard y Baadsgaard, 1989) y más tarde las pruebas realizadas (Scoler y Stubsgaard, 1989). Estos datos se relacionan con el número de identificación o código de un lote, el número de fuente y año de recolección.


Aparte de este número de identificación también se debe incluir otra información al etiquetar un lote de semillas. Esta sirve para evitar errores de escritura y recordar el número de identificación. La información que puede agregarse es la especie y los datos completos de la fuente semillera.

Cualquier lote o saco de semillas es casi inútil si ha perdido su identificación. Es necesario desarrollar sistemas estandarizados y fáciles de utilizar para mantener la identidad de los lotes, especialmente durante el almacenamiento temporal, transporte y extracción donde el lote a menudo pasa de mano en mano.

Cada saco o envase debe, inmediatamente después de llenarse, tener dos etiquetas, una externa y otra dentro del envase con la semilla. Estas etiquetas y la tinta usada en ellas deben ser a prueba de agua. En ellas se debe indicar, al menos el número de lote, especie, fuente y número de envases utilizados (por ejemplo 1 de 4). Datos adicionales pueden ser: peso, recolector, propietario, fecha de recolección, destino, referencias para acompañar la documentación, etc.

Es ventajoso que la maquinaria utilizada (desgranador y limpiador de semillas) posea una prensa o uña para fijar las etiquetas de los lotes que se están procesando.

Las etiquetas que no se usan más deben destruirse inmediatamente para que no sean una fuente de confusión.



N. Técnico: \_\_\_\_\_  
 N. Común: \_\_\_\_\_  
 Procedencia: \_\_\_\_\_  
 País: \_\_\_\_\_  
 Cantidad: \_\_\_\_\_ kg  
**CMG-BSF** No. Lote: \_\_\_\_\_

Figura 19. Ejemplo de una etiqueta

Todos los lotes deben mantenerse separados durante las diferentes etapas del proceso de producción. Esto es difícil cuando se trata de recolecciones con fines experimentales donde hay numerosos lotes pequeños, y una sola semilla en el lote equivocado puede alterar los resultados de una investigación. Bolsas confeccionadas con malla de nylon (mosquiteros) son ideales para almacenar pequeños lotes, los cuales deben mantenerse separados. Estas permiten una buena aireación y muchos de los pasos del manejo de semillas (tales como el secado y el desalado) pueden efectuarse sin sacarlas de la bolsa.

Si el procesamiento se realiza para cantidades comerciales, el área de depósito debe limpiarse para el almacenamiento temporal y se deben tomar medidas para evitar la mezcla de los lotes.

## PREPARACION PARA EL ALMACENAMIENTO

Antes de almacenar o distribuir un lote de semillas, se debe controlar el contenido de humedad y el lote debe ser homogéneo.

### Contenido de humedad

Los dos factores que determinan la longevidad en el almacenamiento son el contenido de humedad de la semilla y la temperatura de almacenamiento. Por consiguiente, siempre debe realizarse una revisión final del contenido de humedad al final del proceso.

Para la mayoría de especies ortodoxas el contenido de humedad durante el almacenamiento y la distribución debe oscilar entre 6-8 %. Para periodos cortos de almacenamiento, distribución y siembra inmediata puede ser mayor (aprox. 12 %) en algunas de estas especies. Cada vez que el contenido de humedad desciende en aprox. 2.5 %, la longevidad

de la semilla se duplica. Esto es importante al almacenar semilla durante más de una temporada.

El secar abajo del 6-8 % requiere de una humedad relativa del 10-30 % dependiendo de la temperatura. En la mayoría de lugares el secado artificial puede ser necesario puesto que no es realista lograr esto solamente con el secado al sol. Las técnicas de secado se describen en Stubsgaard y Poulsen (1995).

En muchos casos el contenido de humedad, durante esta etapa, puede medirse con un medidor rápido de humedad. La mayoría de estos instrumentos sólo miden el contenido de humedad de las capas exteriores de la cubierta de la semilla. Por lo que la semilla se debe dejar por un período en un clima estable antes de ser probada (si la semilla viene directamente del secado, la muestra debe dejarse en una bolsa plástica para lograr el equilibrio, durante aproximadamente 12 h a temperatura constante).

## **Mezclado**

Al procesar un lote, las semillas se separan en recipientes pequeños, parte del lote pudo haber sido procesado dos veces o haber recibido un tratamiento diferente, etc. En cualquier caso, es raro que un lote de semillas sea homogéneo al final del procesamiento. Por lo que es necesario mezclarlo para que las muestras y los resultados de las pruebas puedan ser representativos del lote original.

También es importante que las porciones eventualmente distribuidas de un lote de semillas sean representativas del lote original. Esto se obtiene revolviendo el lote y luego dividiéndolo en un número de porciones igual al de recipientes necesarios para el almacenamiento o al número de porciones para su distribución.

La mezcla puede realizarse utilizando un separador mecánico, el cual normalmente se divide en dos porciones; los lotes pequeños pueden entremezclarse a mano, se extienden en una mesa, se mezclan y se dividen en 4 lotes con una regla. En ambos casos las porciones divididas se vierten simultáneamente en separador o en la mesa y se dividen dos veces antes de utilizarlas como porciones idénticas.

Aunque sea posible acomodar todo un lote en un recipiente, debe mezclarse y dividirse tres veces antes de que las porciones se viertan simultáneamente en el recipiente.

Los procedimientos para tomar muestras y probar el contenido de humedad se describen en Scoler y Stubsgaard (1989).

## ENSAYOS

Las semillas se prueban por dos razones principales:

- identificar la capacidad de germinación de un lote para el usuario (usualmente se expresa como el peso de 1000 semillas o el número de semillas por kg, pureza y porcentaje de germinación),
- evaluar las posibilidades de almacenamiento y la longevidad (se utilizan el contenido de humedad y el porcentaje de germinación, pero algunas veces también se usa un factor o indicador de la velocidad de germinación o vigor).

Algunos conocimientos sobre métodos de muestreo y pruebas de semillas son necesarios para poder evaluar el efecto de los diferentes procesos, tratamientos o métodos de almacenamiento.

Un ensayo de semillas estandarizado incluye prueba del contenido de humedad, peso de 1000 semillas, porcentaje de pureza y porcentaje de germinación. La muestra evaluada debe ser representativa del lote y es mejor tomarla durante, ó mejor después de mezclar el lote de semillas.

Scoler y Stubsgaard (1989) detallan los procedimientos, métodos y equipo utilizado para el muestreo y ensayos en semillas.

## RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO Y DE LA MAQUINARIA

El siguiente capítulo es un inventario general de los tipos de maquinaria disponible para el procesamiento de semillas forestales. Sólo se incluyen máquinas utilizadas para la limpieza y extracción de las semillas. Stubsgaard (1990), trata el secado de frutos y semillas.

Generalmente se menciona sólo un modelo de cada tipo de máquina. Pueden encontrarse modelos similares, y a menudo con la ventaja de contar con un proveedor local que puede abastecer todo el equipo necesario. Por ejemplo, en muchos países tropicales pueden encontrarse despulpadores de café o maquinaria agrícola que puede ser utilizada por los pequeños productores. En otros casos es más sencillo modificar la maquinaria usada en producciones similares que importarla.

Este inventario es la primera parte de una base de datos sobre equipo para centros de semillas forestales elaborada en el DFSC. La base de datos también incluye equipo para recolección, pretratamiento, ensayos, almacenamiento, distribución, etc. El DFSC agradece cualquier recomendación sobre equipo y métodos.



### Para cada artículo se especifica lo siguiente:

Un número de ocho dígitos, para tener acceso al artículo en la base de datos (por ejemplo 210/01/997). Indica grupo de procesamiento (en este caso un tambor rotativo) / número de artículo con el grupo / proveedor.

El nombre del artículo

El nombre del proveedor

Especificaciones del artículo

Observaciones sobre el uso y características del artículo, equipo adicional, etc.

Una ilustración del artículo

272/02/003: Limpiadora por aire modelo "100".

Seedburo Equipment Company

Especificaciones: Cat.no.100B con un cepillo limpiador, sin motor

Tamaños específicos para las cribas y voltaje para el motor

Observaciones:

Cat.no.100BR la misma limpiadora con una criba para la limpieza con estante redondeado.

Cat.no.100CM montada en ruedecillas, requiere de tamaños específicos

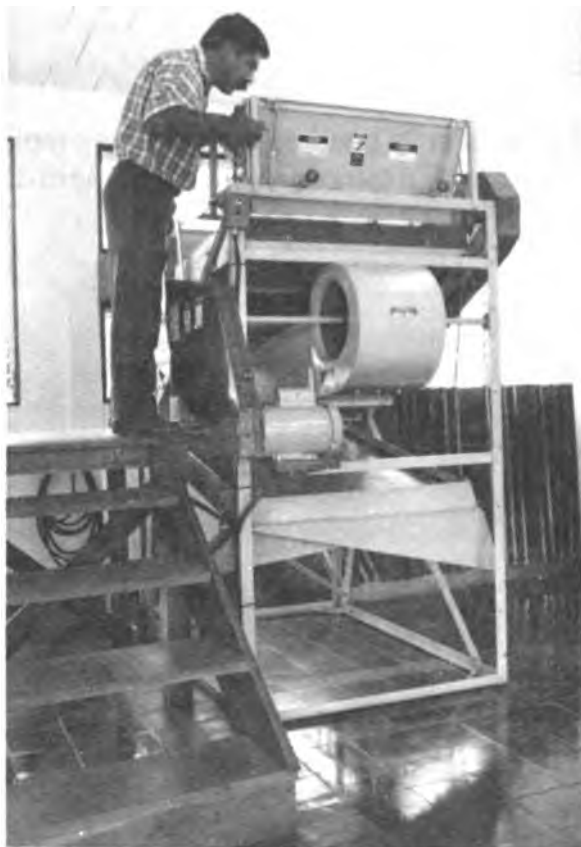
Cat.no.100S cribas de 36" de ancho x 42" de largo.

Cat.no.100SB cubeta fija para las impurezas eliminadas por la corriente de aire.

MOTOR 3/4 - 1 hp, 1725 RPM incluido: Voltaje y hertz específicos.

Es una máquina limpiadora eficiente y versátil. De fácil acceso para la limpieza entre lotes. Cribas disponibles (pulgadas):

<u>PERFORACIONES DE LAS CRIBAS METALICAS</u>						<u>CRIBAS DE ALAMBRE ENTRETEJIDO</u>
Huecos redondeados		Espacio del hueco		Hueco triangular		Espacio del hueco
1/25	10/64	23/64	3/64 x 9/32	10/64x3/4	8/64	¼ X 4—¾ X 5—¾ X 6—¾ X 7— ½ X 8—½ X 9— ½ X 10—½ X 11— 4 X 14—4X16—6X16—6X22 6X24—6X26—6X30—6X32— 6X34 - 6X36
1/22	11/64	24/64	1/18x1/4	11/64x3/4	9/64	
1/20	12/64	25/64	1/16x3/8	12/64x3/4	10/64	
1/19	13/64	26/64	1/15x1/2	13/64x3/4	11/64	
1/18	14/64	28/64	1/14x1/2	13 ½ /64x3/4		
1/17	15/64	30/64	1/13x1/2	14/64X3/4		
1/16	16/64	32/64	1/12x1/2	16/64X3/4		
1/15	17/64	34/64	5/64x1/2	17/64X3/4		
1/14	18/64	36/64	5 ½ /64x3/4	18/64X3/4		
1/13	19/64	40/64	6/64x1/2	20/64X3/4		
5/64	20/64	44/64	7/64x3/4	24/64X3/4		
6/64	21/64	48/64	8/64x3/4	28/64X3/4		
7/64	22/64	1-1/8	9/64x3/4	32/64X1		
8/64						
9/64						



Limpiadora equipada con cubeta fija

**273/01/424: Separador por aire para laboratorio  
DAMAS**

**Especificaciones:** Tipo LASTI (nr.155.5102)

**Observaciones:**

La materia prima se coloca en una tolva de alimentación con vibración ajustable. Cámara de separación del aire con tres seleccionadoras. Tres gavetas para el material cada una de aproximadamente 1.5 litros. Ventilador centrífugo ajustable que elimina el material no deseado a través de un filtro.

Puede reconstruirse para una alimentación continúa.

El principio de trabajo de este separador está ilustrado en la figura 15.



**280/01/431: SOEHNLE balanza-romana para mesa. Frederiskberg Vaegtfabrik**

**Especificaciones: Tipo 4100: plato de 440x325 mm, 30kg/1kg, 1kg/10g, 1.5kg tara**

**Observaciones:**

**Balanza para colocar sobre una mesa en áreas de producción y empaque.**

**Buena precisión para el precio.**

**También disponibles:**

**Tipo**

**4110:plato de 440x325 mm, 49kg/1kg, 1kg/20g, 3 kg tara.**

**4200:plato de 555x415 mm, 49kg/1kg, 1kg/20g, 4 kg tara.**

**4300:plato de 415x555 mm,90kg/10kg, 10kg/100g,10kg tara.**

**4210:plato de 555x415 mm,140kg/10kg, 10kg/100g,15kg tara.**

**280/02/431: Balanza-romana para el piso**

**Frederiskberg Vaegtfabrik**

**Especificaciones: Tipo 46-OSK1: plato de 600x600 mm, 200kg/100g, tara**

**Observaciones:**

**Balanza para colocar en el piso en áreas de producción.**

**Buena precisión para el precio.**



**300/01/402: Balanza mecánica OHAUS Struers**

**Especificaciones: Tipo 760W brazo triple**

**Plataforma con un diámetro de 15 cm, 2610g/0.1g, 225 g tara**

**Observaciones:**

**Para empaques finos, toma de muestras y trabajo de laboratorio no se requiere la precisión de una balanza analítica.**

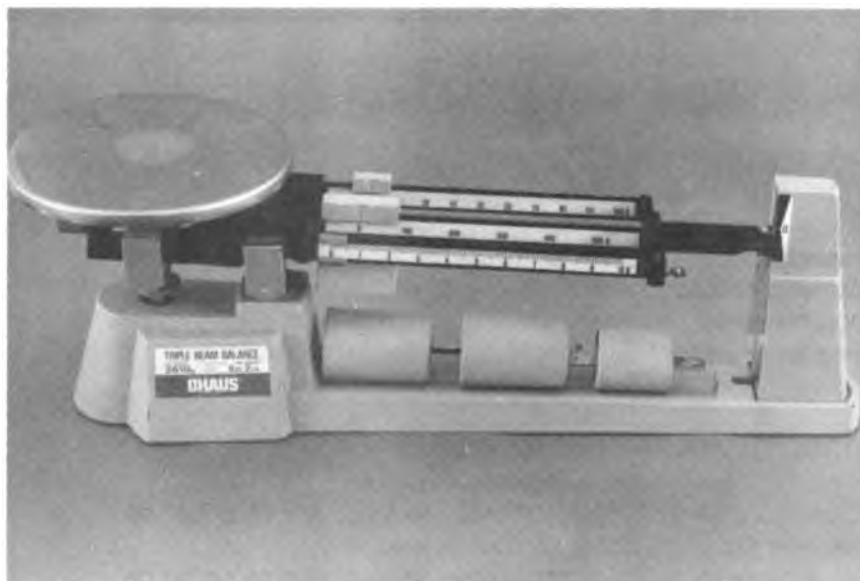
**También disponible:**

**Modelo 1650W Dial-o-gram: especificaciones iguales**

**704 Maxi-Scoop con contrapesos**

**706 Protector de vinil contra el polvo**

**1119D Balanza de uso industrial: plataforma con un diámetro de 28 cm 20kg/1g, 2270g tara**



**300/03/402: Balanza analítica METTLER AE200**

**Struers**

**Especificaciones: Tipo AE200, 205g/0.1mg, tara**

**Observaciones: Balanza analítica electrónica para calcular el peso de 1000 semillas y la pureza. También puede utilizarse para pesar muestras a las que se les evalúa el contenido de humedad al salir del horno.**

**NOTA! SI EL VOLTAJE ES INESTABLE, DEBE CONECTARSE UN ESTABILIZADOR DE VOLTAJE AL FRENTE DE TODAS LAS BALANZAS ELECTRONICAS.**



**310/01/003: Muestreador de semillas**

**Seedburo Equipment Company**

**Especificaciones: cat.no.235: 18" de largo (46 cm), 1/2" de diámetro exterior, 5 aberturas, mango abierto**

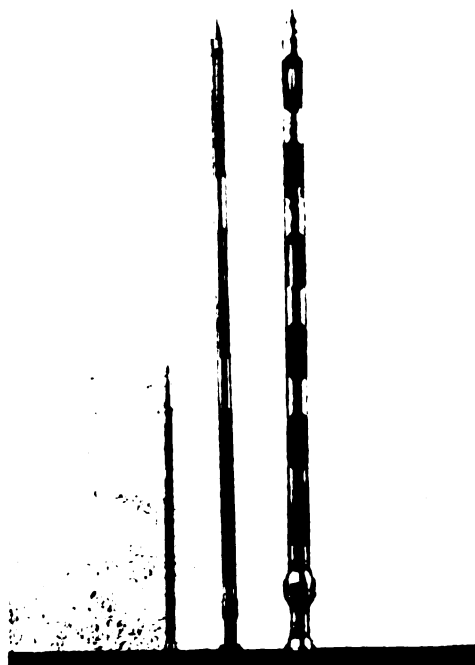
**Observaciones: Apropiado para muestrear semillas pequeñas de recipientes pequeños, cubetas, sacos pequeños, etc.**

**310/02/003: Muestreador de semillas**

**Seedburo Equipment Company**

**Especificaciones: cat.no.78-OH: 39" de largo (99 cm), 7/8" de diámetro exterior, 6 aberturas, mango abierto.**

**Observaciones: Apropiaada para muestrear semillas pequeñas de recipientes grandes, tambores, sacos, etc.**



**320/01/428: Separador de muestras, acanalado/riffle type Rationel Kornservice**

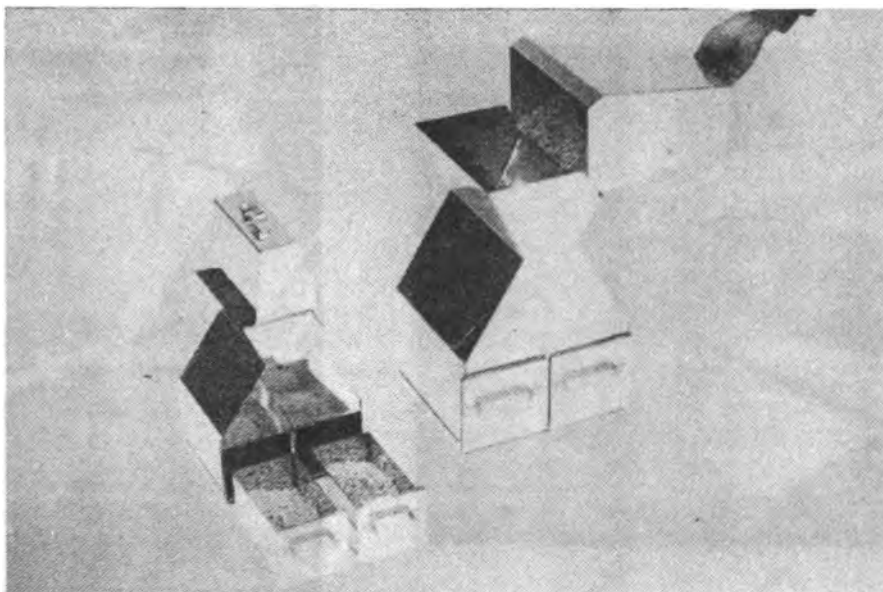
**Especificaciones: Modelo 3: canales de 10x20mm, muestras de 3 litros, 34x25x21cm, 5kg.**

**320/02/428: Separador de muestras, acanalado**

**Rationel Kornservice**

**Especificaciones: Modelo 10: canales de 10x28mm, muestras de 10 litros, 52x33x30cm, 9kg.**

**Observaciones: Parece ser una construcción tosca de acero inoxidable. Es un instrumento cerrado, la bisagra del recipiente donde se colocan las muestras no permite el escape del polvo y facilita las operaciones.**



**340/02/003: Molino de semillas manual**

**Seedburo Equipment Company**

**Especificaciones: Cat.no.438HB: con dientes y alimentación para tornillo sin fin.**

**Observaciones: Molino simple y bueno. Se monta sobre una mesa. Utilizado para moler semillas antes de evaluar su contenido de humedad en el horno (de acuerdo a las reglas de ISTA).**



451/02/003: Sellador de bolsas plásticas  
Seedburo Equipment Company

Especificaciones: Cat.no.580SA: SUPER SEALBOY puede montarse en un banco o en una mesa. Dispone de un pedal. 115V US \$ 1075 (91).

Precio: US \$ 513 (91)

Observaciones: Anote las especificaciones de potencia, transformador cat.no.k20 para 220 V US \$ 137 (91). Bandeja de alimentación opcional.



## LITERATURA SELECCIONADA

**Doran, J.C.; Turnbull, J.W.; Boland, D.J.; Gunn, B.V.** 1983. Handbook on seeds of dry-zone acacias. A guide for collecting, extracting, cleaning, and storing the seed and for treatment to promote germination of dry-zone acacias. Rome, FAO.

**FAO**, 1975. Report of the FAO/DANIDA training course on Forest Seed Collection and Handling, Thailand. MR/H 2855/E. Rome, FAO.

**Folliot, P.F; Thames, J.L.** 1983. Collection, handling, storage and pretreatment of Prosopis seeds in Latin America. Rome, FAO.

**Liang, Sim Boon; Wong Ching, Y.** 1985. Mechanical extraction and cleaning of *Gmelina arborea* nuts. DANIDA Forest Seed Centre. Technical Note No.20.

**Robbins, A.M.J.** 1984. Seed extraction, 1. The tarpaulin method of sun drying cones and seed extraction. Danida Forest Seed Centre. Technical Note No.9.

- Robbins, A.M.J.** 1985. A versatile, low-cost drying kiln for opening pine cones. Danida Forest Seed Centre. Technical Note No.22.
- Simak, M.** 1984. A method for removal of filled-dead seeds from a sample of *Pinus contorta*. Seed Science and Technology 12:767-775.
- Willam, R.L.** 1985. A guide to forest seed handling wih special reference to the tropics. FAO, Forestry Paper 20/2.

## Anexo 1

### Extracción mecánica y limpieza de las nueces de *Gmelina arborea*

#### Resumen de la Nota Técnica no.2, 1985

Ha sido demostrado que la pulpa de las nueces de *Gmelina arborea* debe eliminarse totalmente con el fin de asegurar una buena germinación.

Para procesar grandes cantidades de nueces en forma eficiente se ha desarrollado un método para la extracción mecánica y limpieza para Sabah Softwoods, Malasia. El método está compuesto por tres etapas: despulpado, secado y escarificación.

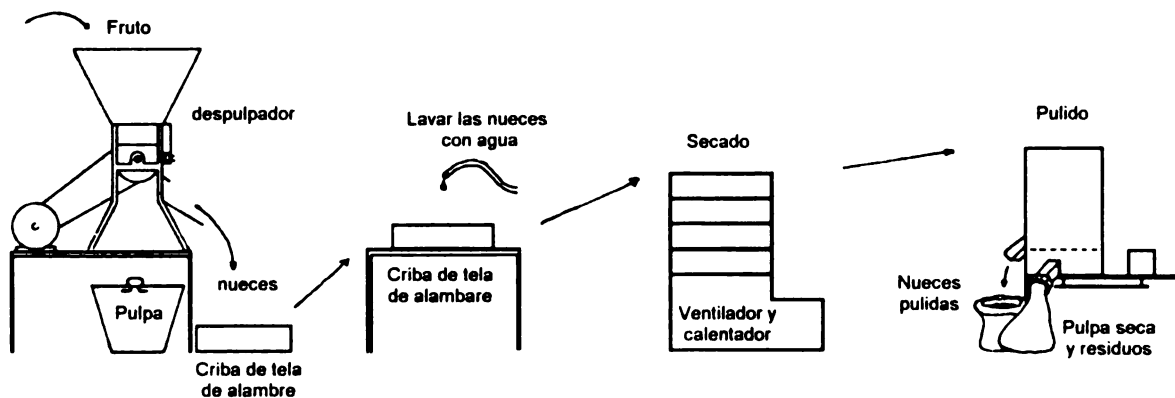
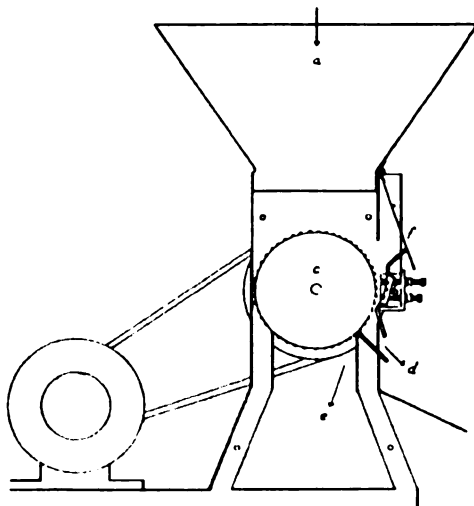


Figura 1. Esquema del proceso

#### Despulpado

Puede utilizarse un despulpador de café pequeño modificado. Este consiste en un tambor de rotación dentado y un plato de alimentación ajustable. Los frutos se vierten en el embudo de alimentación (a). En el plato de alimentación (b) el tambor dentado (c) despulpa las nueces. La abertura entre el tambor y el plato se ajusta de modo que las nueces pasen por el orificio de salida (d) sin dañarse. La pulpa se desprende de los dientes (e) en la parte inferior del tambor. La platina de cierre (f) se abre para limpiar el tambor.



#### Dimensiones:

Altura total de la máquina:	62 cm
Diámetro del tambor:	18 cm
Número de dientes por fila	30
Número de filas	63
rpm.	680





### **Limpieza y secado**

Las nueces después de ser despulpadas y lavadas con agua para eliminar el jugo y los residuos de pulpa, se extienden en una zaranda. Se secan bajo aire tibio a 40-60 °C por dos días. En Malasia esto reduce el contenido de humedad a un 5-8%, lo cual es suficiente para asegurar el almacenamiento a 4°C.

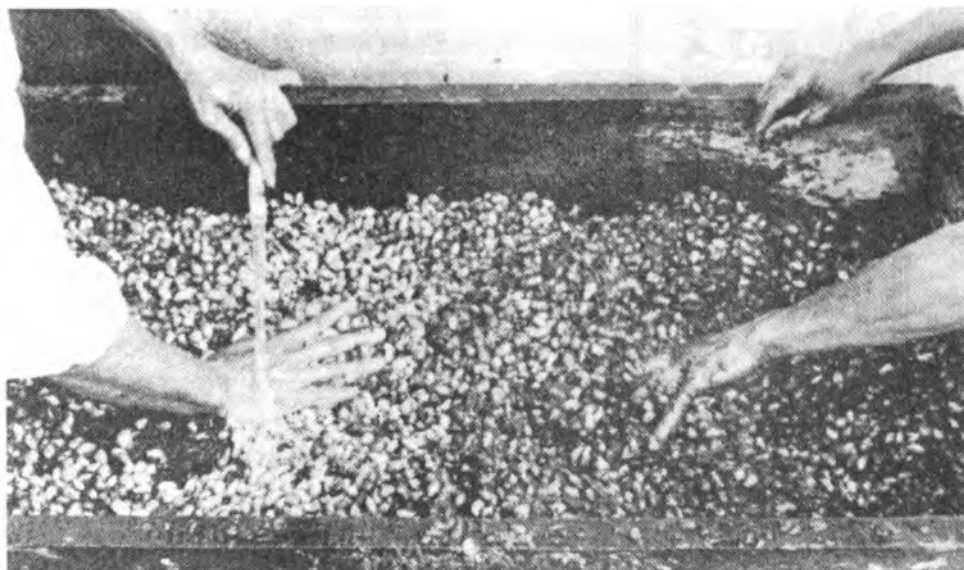


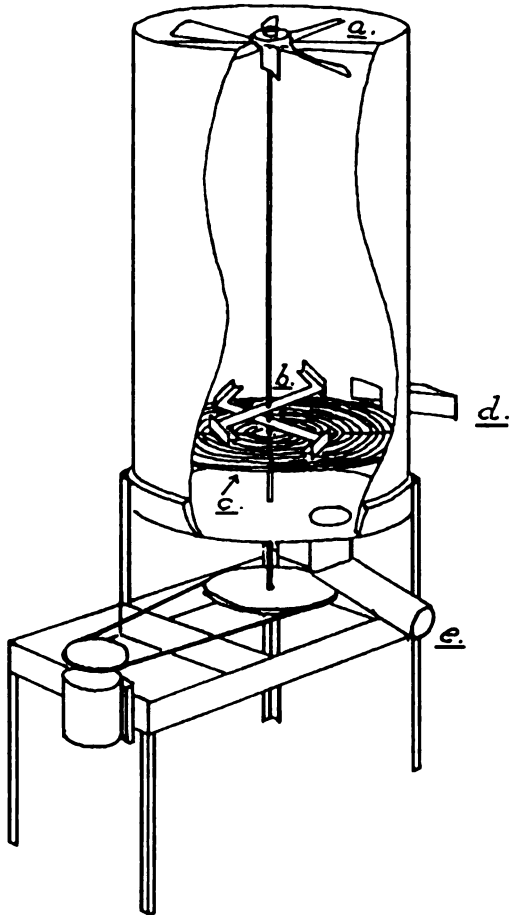
Figura 2. Limpieza de las nueces de *Gmelina arborea* utilizando una criba o zaranda

### **Escarificación**

Los residuos de pulpa se eliminan después de secar, mezclando las nueces en un desholleador para café, el cual las hace girar contra la superficie de un tambor metálico. El girar efectivamente desmenuza la pulpa seca adherida a las nueces así como la concha vacía en el extremo puntiagudo de la nuez.

Las nueces se vierten por encima, donde el ventilador (a) crea una corriente de aire descendente que sopla los residuos a través de un tamiz (c) los cuales caen dentro de una bolsa en la salida (e). Cuando las nueces están limpias, el operador levanta la ventana metálica en la salida (d), y las nueces escarificadas caen en un saco.

La escarificación toma menos de 30 segundos y elimina toda la pulpa o basura de las nueces.



Dimensiones:

Altura total:	49 cm
Diámetro del tambor:	32 cm
RPM de las hojas aprox.	800

## Anexo 2

### Empleo de lonas para el secado de conos de pino al sol y extracción de semillas

#### Resumen de la Nota Técnica no.9, 1984

Este método se ha utilizado en Honduras para *Pinus oocarpa* y *P. caribaea*. También se ha empleado en otros países para especies como *Acacias* y *Eucalyptus*.

La lona o tela impermeable debe ser lo suficientemente fuerte para resistir el manejo, objetos puntiagudos o rasgaduras y minimizar la condensación, por estas razones se prefiere una lona gruesa impermeable en lugar de una tela cubierta de plástico o de polietileno.

Una lona de 5x7 m o de 5x10 m puede ser manejada por 2-3 personas. Una lona de más de 5 m de ancho es incomoda y hay que caminar sobre ella. Pueden utilizarse lonas más pequeñas cuando se requiere mantener separados varios lotes pequeños.

La capacidad de la lona es de aproximadamente 100 litros de conos cerrados por tres m<sup>2</sup> (en una capa con el espesor de un cono y 30 cm libres a cada lado).

El tiempo requerido para que los conos maduros abran completamente depende de la especie y de las condiciones del tiempo, generalmente esto es posible en 2-3 días durante la época seca con buen clima.

Las lonas se deben extender sobre un área siempre expuesta al sol evitando la sombra, pero lo suficientemente protegida para evitar que el viento se lleve las semillas.

El terreno debe ser plano, bien drenado y libre de picos o puntas que puedan perforar la lona. Una franja del terreno, del ancho de un tercio de la lona permanece cubierto de la mitad hacia abajo y bien drenado. Si se coloca la lona en un terreno con pendiente puede obtenerse un buen drenaje de diferentes maneras (Fig. 1):

- A. En un terreno compactado e impermeable, se hace una zanja superficial para el drenaje alrededor de la lona. El material de la zanja se amontona debajo de la franja central de la lona que permanece cubierta.
- B. Colocando una capa de 10 cm de grosor de grava ordinaria. Las piedras como las que se encuentran en los lechos de los ríos - sin astillas, redondas deben tener un diámetro máximo de 1-2 cm.
- C. En áreas anegadas es mejor buscar otro sitio o construir una plataforma de madera asegurándose de que las uniones estén tan altas como sea posible.

Los pastizales y patios de concreto pueden utilizarse si tienen una pendiente adecuada para que exista escorrentía superficial. Las agujas de pino pueden usarse para levantar la lona del suelo.

Es esencial mantener la lona en buenas condiciones, limpiarla con un cepillo y lavarla regularmente así como revisar que mantenga la impermeabilidad y tratarla cuando sea necesario. Si un lote de conos se infecta con hongos, es necesario tratar ambos lados de la

lona con fungicida. También es importante asegurarse de que todas las puntadas, huecos y perforaciones sean reparados a tiempo.

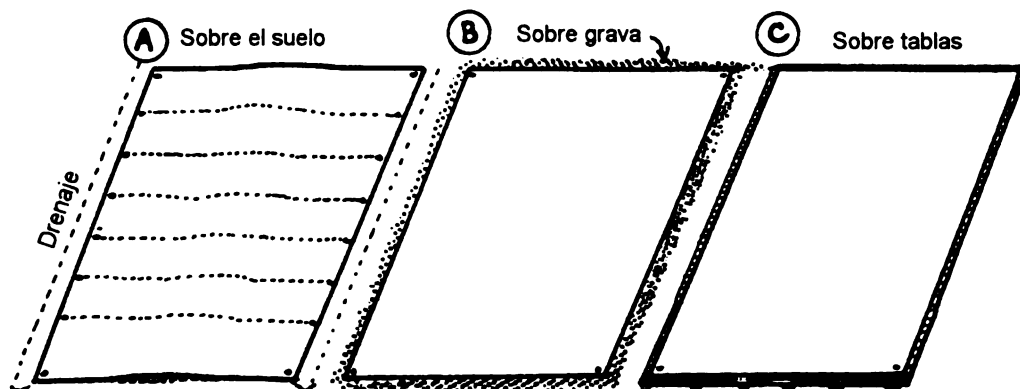


Figura 1. Colocación de la lona sobre un terreno pendiente para obtener buen drenaje.

### Extracción

- 1) Los conos maduros se extienden sobre la lona utilizando un rastrillo cuyos espacios entre los dientes sean más pequeños que los conos cerrados.
- 2) Para prevenir que la semilla se pierda, los conos deben rastrillarse a 30 cm del borde de la lona.
- 3) Durante el día deben revolverse tantas veces como sea posible (cada 2-3 horas). Utilizando el lomo del rastrillo se golpean suavemente y se rastrillan de un lado hacia otro. Entre más se muevan más eficiente es la extracción de las semillas.
- 4-9) Al final del día (1 1/2 horas antes de la puesta del sol) o cuando vaya a llover, los conos deben recogerse y cubrirse como se muestra en la figura 2. El último lado que se cubre (9) debe ser la cara donde prevalezca el viento. Deben colocarse pesas a lo largo de las orillas libres para evitar que el viento levante la lona y entre la lluvia.
- 10-12) Es mejor quitar las semillas que han sido extraídas al iniciar cada día cuando se destapa la pila. (10) Se golpea suavemente la pila con el lomo del rastrillo para asegurarse de que las semillas caen a través de la pila. (11) Se rastrillan suavemente los conos hacia el perímetro de la lona levantándolos en lugar de tirarlos. (12) Las semillas expuestas se barren y se sacan. Si el secado debe continuarse, los conos se rastrillan de nuevo sobre la lona. Si es necesario quitar algunas semillas durante el día, los conos se tiran en medio de la lona como se muestra en la figura (4-7) y se sigue el procedimiento descrito.

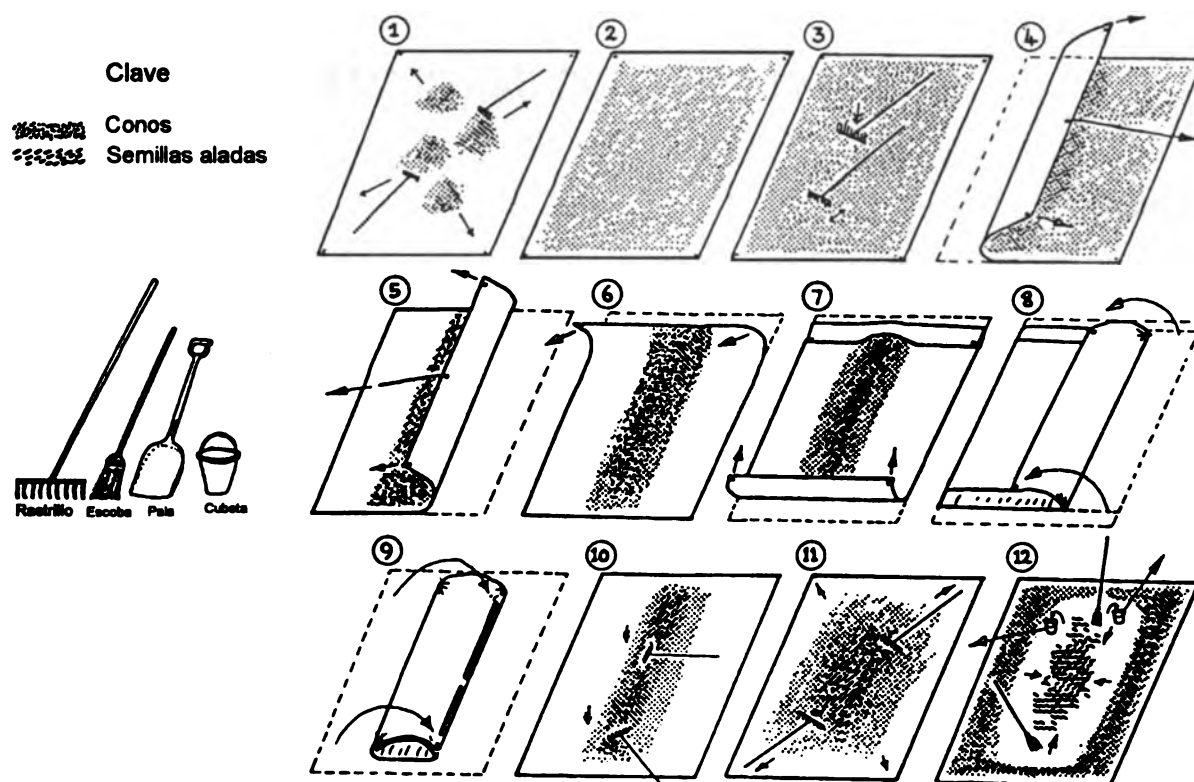
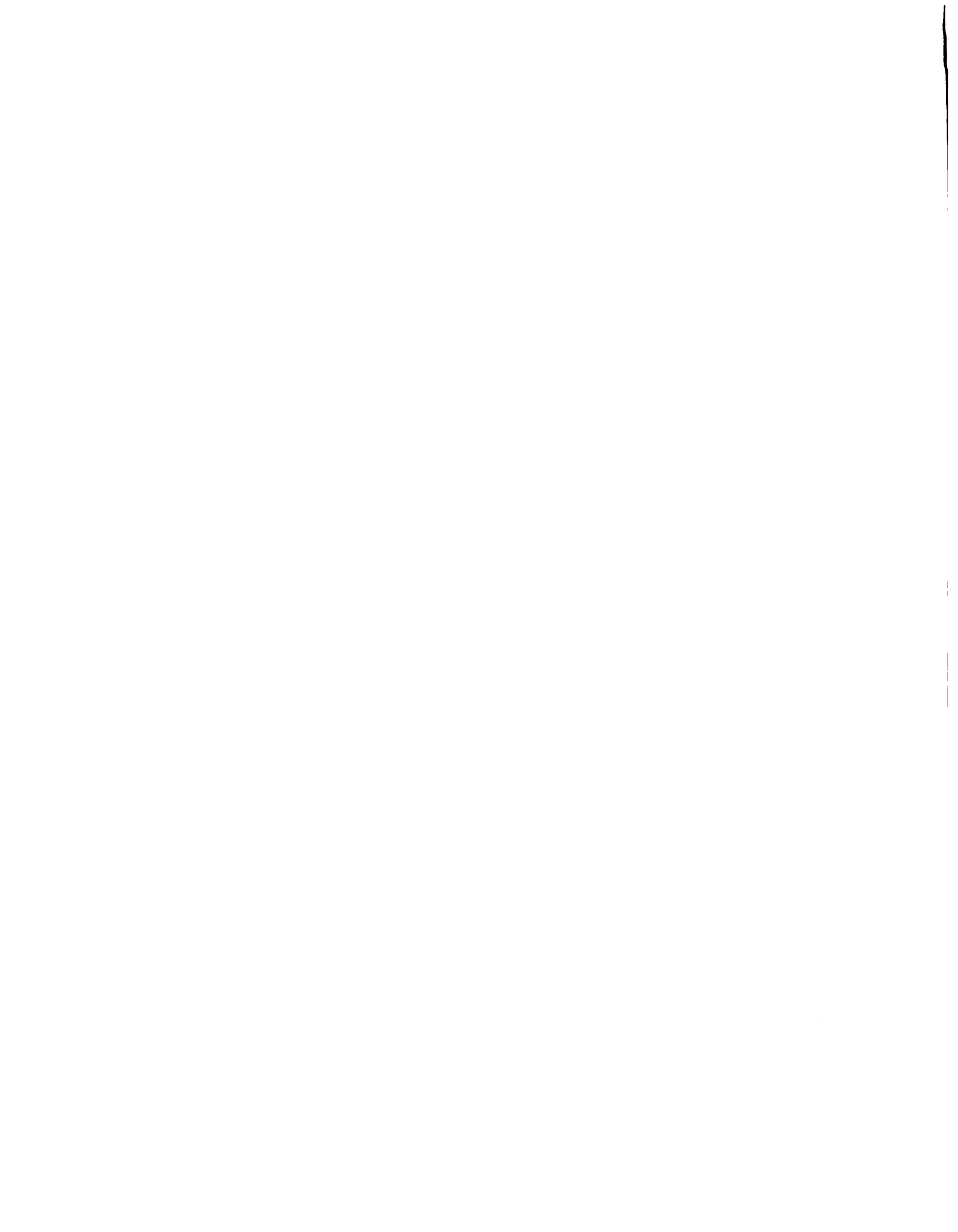


Figura 2. Extracción de semillas de conos maduros.

Los conos deben estar maduros antes de secar. No permita que el agua penetre en la lona a través de dobleces mal hechos o perforaciones. El agua se acumula en el fondo con las semillas y provee condiciones ideales para la germinación.

Para minimizar los daños a la semilla y evitar ensuciar la lona no se debe caminar sobre los conos.

La lona debe estar abierta cuando las condiciones sean aptas para el secado.



# ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS<sup>1</sup>

F. Stubsgaard

## INTRODUCCION

La semilla al ser procesada representa un valor razonablemente alto. A partir de este momento se deteriora y pierde porcentaje de germinación hasta que se siembra y germina. La tasa de deterioro de la semilla en almacenamiento depende de las condiciones en que se realice. El almacenamiento adecuado tiene como fin mantener la viabilidad de la semilla al nivel más alto posible.

Se discute un número de posibilidades y diferentes métodos de almacenamiento y se hace un intento por cuantificar el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la pérdida de la fuerza germinativa. Se estudian las combinaciones de almacenamiento y materiales comunmente utilizados.

## COMPORTAMIENTO DE LA SEMILLA EN ALMACENAMIENTO

Tan pronto como las semillas maduran en el árbol madre, se empiezan a deteriorar. La tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales alrededor de las semillas. Este deterioro eventualmente conducirá a tasas reducidas de germinación y del crecimiento de la plántula, disminuye su habilidad para germinar bajo condiciones de estrés, incrementa la posibilidad de plántulas anormales y baja la emergencia en el campo. Estos síntomas de deterioro se conocen como vigor pobre. El deterioro continuará hasta que la semilla individual sea incapaz de germinar. Esto se conoce como pérdida de viabilidad o muerte de semilla.

El comportamiento de la semilla en almacenamiento es el patrón de envejecimiento y disminución del porcentaje de germinación y de cómo estos patrones son influenciados por el ambiente durante el almacenamiento.

Las semillas de un lote (un grupo de semillas uniforme con el mismo historial y origen o procedencia) bajo un ambiente de almacenamiento constante, se comportará como una

---

<sup>1</sup> Traducción y adaptación del material compilado por F. Stubsgaard "Seed Storage", Humlebaek, Denmark. Danida Forest Seed Centre. Lecture note. No.C-9.

población en términos de tener un período de vida con distribución normal alrededor de una vida media (m), en donde el 50% de la población morirá y el 50% será capaz de germinar. En otras palabras, el lote de semilla tendrá en este momento un 50% de germinación.

Una curva de viabilidad (ó porcentaje de germinación) contra el tiempo, para un lote de semillas bajo condiciones constantes de almacenamiento, será por consiguiente sigmoide, la línea continua (Fig.1). La cantidad de muertes de semilla individual por unidad de tiempo graficada contra el tiempo, resultará en una curva de campana punteada (Fig. 1). Se puede observar que entre más cerca esté el lote a la media de vida, más rápido se disminuye el porcentaje de germinación ya que existen más semillas expuestas a morir. En este ejemplo, en donde se asume un porcentaje de germinación inicial del 100%, y el promedio de vida  $\mu$  de 4 años, la disminución del porcentaje de germinación no es apreciable comparada con las pruebas de germinación usualmente utilizadas durante los dos primeros años (de 100% a 99.86% y 97.75%). Después del tercer año el porcentaje de germinación es de 84.2% y después del cuarto de 50%.

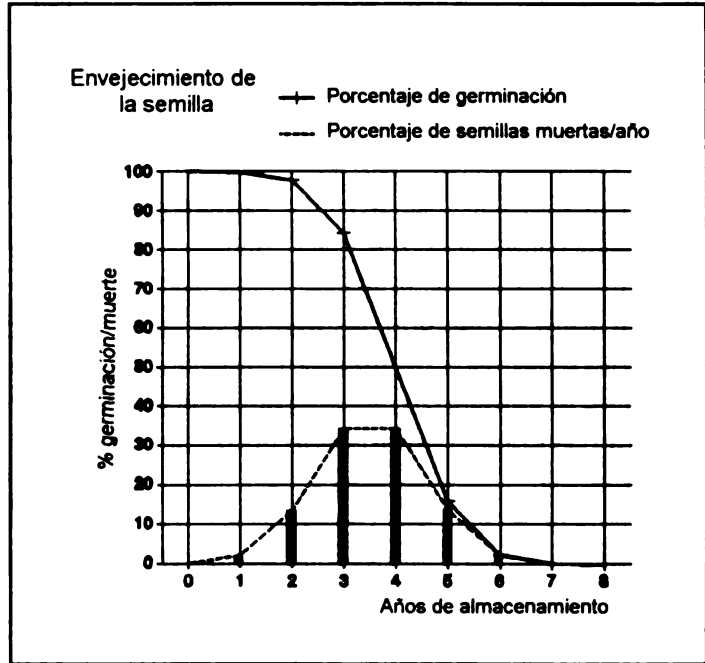


Figura 1. Envejecimiento de la semilla

(Para simplificar en este caso la desviación estandar de muertes de semilla ( $\sigma$ ) = 1 año, y  $\mu$  = 4 años. Entonces  $\mu \sim$  50% de germinación al año 4,  $\mu + \sigma \sim$  84.2% en el año 3,  $\mu + 2\sigma \sim$  97.75% en el año 2 y  $\mu + 3\sigma \sim$  99.86% en el año 1. (Anexo 1 y 2).

La muerte de semillas individuales es precedida por la probabilidad incrementada de plántulas anormales y la deficiencia para germinar bajo condiciones de estres en campo. Por estas razones los lotes de semillas deben generalmente ser usados antes de que el porcentaje de germinación descienda de 80 - 90%. Generalmente los lotes de semillas se descartan una vez que el porcentaje de germinación, ha descendido a menos del 50%.

En el ejemplo anterior, se asume que el porcentaje de germinación inicial es de 100%. Varios factores pueden influir en este porcentaje antes de que la semilla se reciba para almacenamiento. Algunos factores, aparte de las condiciones de almacenamiento, influyen sobre la longevidad subsecuente bajo almacenamiento. Estos factores (como la experiencia pre-almacenamiento de la semilla) se pueden resumir como sigue:



**Efectos anuales:** En años de poca floración pueden presentarse muchas semillas vacías; también, una alta proporción de autopolinización puede reducir la viabilidad de las semillas. Las condiciones climáticas antes de la cosecha y el estado fisiológico del árbol madre, pueden influir en la viabilidad de la semilla.

**Maduréz:** La semilla continúa su desarrollo hasta la maduréz. La semillas recolectadas (y secadas) antes del pico de maduréz pueden carecer de una cantidad óptima de materia seca para el almacenamiento y germinación posterior, o de ciertos componentes bioquímicos esenciales para la preservación de la viabilidad.

**Daño fisiológico:** El lapso entre la recolección y entrega para almacenamiento puede, especialmente bajo condiciones húmedas/calientes, proporcionar condiciones óptimas para la formación de moho y desarrollo de insectos, y puede resultar en una reducción significativa del porcentaje de germinación inicial y por consiguiente del tiempo de almacenamiento.

**Daño mecánico:** Las semillas pueden ser dañadas mecánicamente durante la extracción, desalado, limpieza, etc. y durante un secado excesivo o rápido. El daño mecánico puede ser fracturas externas que permiten el paso de esporas de hongos y/o de fracturas internas que dañan las plántula.

**Limpieza pobre:** Una alta proporción de semilla vana o dañada puede dar una falsa impresión de la capacidad de almacenamiento de la fracción restante de semilla buena (una alta proporción de semilla vana podrá dar por ejemplo la impresión que el tiempo potencial de almacenamiento de un lote de semillas se ha reducido sustancialmente). Cuando se evalúa el porcentaje de germinación inicial, se debe realizar una prueba de corte en las semillas que no germinaron clasificadas como vanas, muertas o bien no germinadas (por ejemplo latencia). Las semillas pueden estar infectadas por mugre, hojas y otras impurezas. Por razones fitosanitarias, deben estar lo más limpias posible antes del almacenamiento.

Aún una leve reducción de un alto porcentaje de la germinación inicial durante el manipuleo del fruto y el procesamiento de la semilla, puede disminuir sustancialmente el período potencial de almacenamiento (Fig.1). Por ejemplo, una reducción del 99.86% al 97.75% de germinación podrá reducir el tiempo de almacenamiento en un año en el caso del lote de semilla de la Figura 1. Esto puede suceder durante un tratamiento en el procesamiento como el secado a altas temperaturas. Se puede decir, que cualquier tratamiento a un lote de semillas que reduzca el porcentaje de germinación, envejece la semilla.

## TIPOS DE PERIODOS DE ALMACENAMIENTO Y PRINCIPALES GRUPOS DE ESPECIES

Factores que influyen sobre el tiempo de almacenamiento:

**Menos de un año.** Las semillas se siembran directamente después del procesamiento o se mantienen en almacenamiento hasta la próxima época de siembra, bajo las siguientes condiciones: cuando las jornadas de producción de semillas y reforestación son actividades regulares anuales; las recolecciones locales se llevan a cabo por el vivero para su propio uso; las especies en cuestión tienen poca posibilidad de almacenamiento (especies recalcitrantes); las facilidades para el almacenamiento son limitadas de tal manera que se espera que las semillas pierdan su capacidad germinadora en un año.

**1 a 5 años o más.** Las siguientes condiciones hacen posible concentrarse en la recolección de unas pocas especies cada año y no depender tanto de la demanda anticipada de semilla y del tamaño de la cosecha, ya que se puede mantener un inventario (stock) de seguridad: cuando las especies se pueden almacenar (ortodoxas) y tienen una fructificación irregular (periodicidad); las facilidades de almacenamiento disponibles (centro nacional o regional de gran producción) son tan buenas, que es económicamente factible realizar recolecciones solamente en buenos años de cosecha.

**Almacenamiento a largo plazo.** El tiempo de almacenamiento dependerá de las especies y de la capacidad germinadora inicial, pero será evaluada durante décadas para especies de fácil almacenamiento: muestras de semillas se almacenan para uso futuro, como en el caso de la conservación de recursos genéticos. La semilla se mantendrá bajo condiciones óptimas; para casi todas las especies ortodoxas son de  $5\% \pm 1\%$  de contenido de humedad (CH, % de peso fresco) y a  $-18^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

Las semillas se dividen en dos grandes grupos de especies con relación a las posibilidades de deterioro y almacenamiento.

**Semillas ortodoxas:** Incluye toda semilla que se seca naturalmente en la planta madre. Este tipo de semilla puede secarse a bajo contenido de humedad sin dañarse, y entre más bajo sea el contenido de humedad y temperatura sobrevivirá por más tiempo. Esta relación entre el contenido de humedad, temperatura, tiempo y porcentaje de viabilidad está controlada por reglas simples, y consecuentemente, las semillas a las cuales se les puede aplicar estas reglas se denominan ortodoxas (ver capítulo 3).

La longevidad de las semillas ortodoxas se mide usualmente por décadas o más, bajo condiciones óptimas.

**Semillas recalcitrantes:** Este segundo grupo de especies difiere de las ortodoxas en dos sentidos: sus semillas mueren si se secan por debajo de ciertos límites, y las semillas de

especies tropicales de este grupo, usualmente mueren si la temperatura se disminuye por debajo de ciertos límites.

Aún en condiciones óptimas de humedad, la sobrevivencia de semillas de especies tropicales en este grupo se limita a unas pocas semanas o meses. Por consiguiente, estas semillas son difíciles de almacenar, no se les puede aplicar las reglas de las semillas ortodoxas y se describen como recalcitrantes.

Este grupo incluye semillas carnosas grandes de especies forestales. Casi todas las semillas tropicales recalcitrantes se encuentran en los trópicos húmedos o maduran durante la estación lluviosa. Bajo condiciones naturales, la semilla inicia su crecimiento inmediatamente después de la dispersión y algunas veces inician su germinación estando en el árbol.

No siempre existe una clara diferenciación entre los dos grupos. Una especie típica puede ser clasificada como recalcitrante aún si se considera como especie ortodoxa "difícil". Este es el caso si las semillas se pueden secar una vez recolectadas y secadas en un estado previo a la maduración, por ejemplo recolectándolas en el árbol en vez de obtenerlas después de la dispersión natural, o si las semillas solo pueden sobrevivir secándolas bajo cierta combinación de temperatura/humedad.

Los dos grupos se tratarán separadamente ya que los métodos y posibilidades de almacenamiento son completamente diferentes (las ortodoxas son secadas y, si es necesario, enfriadas a baja temperatura; las recalcitrantes se mantienen húmedas, y si es posible, a la menor temperatura tolerada por la semilla).

## ESPECIES ORTODOXAS

El tiempo que toma bajar el porcentaje de germinación de 100 a 50% se conoce como el **período medio de viabilidad**. Como la caída del porcentaje de germinación en el almacenamiento no es lineal, es más fácil cuantificar los efectos de diferentes tratamientos y condiciones de almacenamiento en el período medio de viabilidad.

Podemos por ejemplo imaginar un lote de semillas seco, del cual tomamos dos muestras (A y B, Fig. 2) y se sellan en envases herméticos con aire. La muestra A se almacena en condiciones ambientales y la B en cuarto frío. El efecto de las diferencias en los tratamientos sobre el porcentaje de germinación dependerá en sumo grado de cuándo se realizó la evaluación del porcentaje de germinación. Por otro lado, se puede observar en la figura 2, que el tiempo que toma la pérdida del porcentaje de germinación a cualquier nivel es exactamente el doble en el caso B que en A. Por consiguiente, es más conveniente cuantificar el efecto de un tratamiento como la diferencia del tiempo que toma la germinación para caer a cierto nivel (Anexo 2).

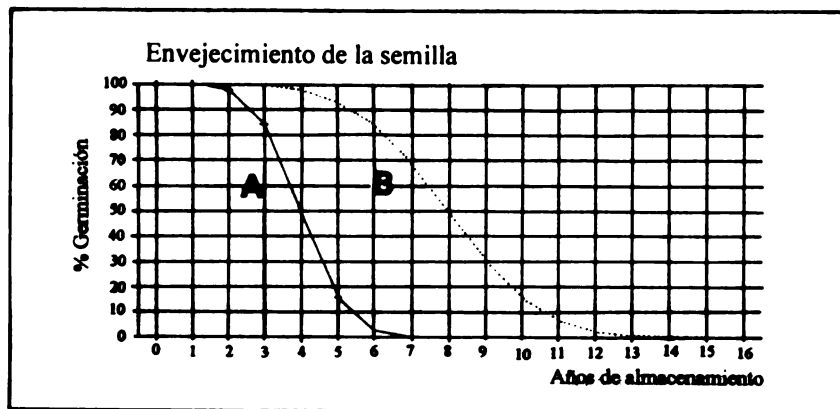


Figura 2. Período medio de viabilidad: A = 4 años, B = 8 años

Se supone que la semilla recibida para almacenamiento es técnica y fisiológicamente de buena calidad y que el porcentaje de germinación inicial es 100%. Con esta suposición, se verá el efecto de diferentes factores sobre el período medio de viabilidad de especies ortodoxas.

### La diferencia de longevidad entre especies

El período medio de viabilidad bajo condiciones similares de almacenamiento varía entre especies.

**Especies de testa dura.** Generalmente, las semillas de especies con testa dura, de zonas áridas o semiáridas, cuando se secan a bajo contenido de humedad (6-8%), tienen un período medio de viabilidad de algunos años bajo condiciones ambientales. Cuando las semillas se secan, algunas capas de la testa de la semilla colapsan y se vuelven permeables al agua.

Esto significa que cuando se secan las verdaderas semillas de testa dura y se almacenan bajo condiciones de humedad, solo las semillas con fallas en la testa absorberán algún vapor de agua. Tales semillas imbibirán si fueron colocadas en agua sin escarificación. Esto ocurre entre el 2 y 12% de las semillas para las especies de acacias y otras de testa dura.

Las semillas de estas especies pueden, bajo condiciones naturales, si están suficientemente secas, permanecer viables por años antes de que las capas exteriores se eroden a tal grado que puedan absorber agua y germinar.

**Otras especies ortodoxas.** La mayoría de estas especies no tienen esta misma longevidad bajo condiciones naturales donde varíe la humedad. Algunas especies tienen latencia y pueden mantenerse viables en estado imbebido por algunos años

(por ejemplo, especies que requieren luz para germinación y que pueden quedar en el suelo por décadas y germinar cuando se sacan a la superficie).

En semillas almacenadas, generalmente no es factible mantener semillas almacenadas en estado de imbibición con suficiente acceso a oxígeno, y para todas las especies ortodoxas es posible mantener la misma longevidad conservando las semillas secas y frías.

## Condiciones de almacenamiento

Aparte de existir distintas especies con diferentes períodos medios de viabilidad bajo las mismas condiciones, los factores más importantes que afectan el período medio de viabilidad son las condiciones bajo las cuales la semilla de una especie se almacena. En orden de importancia descendente, los principales factores son: contenido de humedad, temperatura, protección contra plagas y enfermedades y atmósfera de almacenamiento.

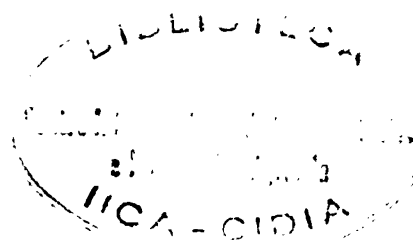
**Contenido de humedad.** La manera más eficiente y fácil para prolongar el período medio de viabilidad es controlar el contenido de humedad de las semillas en almacenamiento.

De modo empírico, el período medio de viabilidad se dobla cada vez que el contenido de humedad desciende 1% entre 14 y 5% de contenido de humedad (tal como en la Figura 2, en donde la temperatura más baja dobló el período medio de viabilidad de B comparado con A).

El efecto del contenido de humedad depende de alguna manera del contenido de aceite de la semilla. El proceso de descomposición en semillas secas aparentemente depende mucho del agua y hasta cierto punto, ocurre en las proteínas y carbohidratos.

El contenido de humedad se mide como el peso del agua expresado en porcentaje del peso total de la semilla; por consiguiente el contenido de humedad relativo de las proteínas y carbohidratos es más alto en semillas oleaginosas (ya que no hay agua libre en el aceite) comparada con semillas sin aceite con el mismo contenido de humedad.

Esto se ilustra en el siguiente ejemplo tomado de Roberts (1986) donde una especie relativamente no oleaginosa (cebada) y otra oleaginosa (cebolla), fueron escogidas para mostrar la amplitud de efectos sobre la longevidad, que pueden ser encontrados (Cuadro 1.)



**Cuadro 1. Factores por los que la longevidad se altera por una diferencia de 1% de contenido de humedad en semillas de cebada (*Hordeum distichum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.).**

Contenido de humedad rango en % peso verde	Factor por el cual se altera la longevidad*	
	Cebada	Cebolla
4 - 5	3.70	2.17
5 - 6	2.92	1.88
6 - 7	2.47	1.71
7 - 8	2.19	1.59
8 - 9	2.00	1.50
9 - 10	1.86	1.44
10 - 11	1.75	1.39
11 - 12	1.67	1.35
12 - 13	1.60	1.32
13 - 14	1.56	1.29

\* Para un descenso en el contenido de humedad en los rangos indicados, la longevidad se incrementa por el factor señalado; para un incremento en el contenido de humedad en los rangos indicados, la longevidad desciende por el recíproco del factor señalado. Por ejemplo, cuando se seca un lote de semilla no aceitosa en almacenamiento del 10 al 6%, el contenido de humedad incrementará la longevidad aproximadamente en  $1.86 \times 2.00 \times 2.19 \times 2.47 = 20$  veces.

Por ejemplo al lote de semilla, al 10% de contenido de humedad le toma dos años antes de que el porcentaje de germinación baje a 70%, permanecerá por 40 años aproximadamente en el mismo almacenamiento antes de que el porcentaje de germinación descienda a 70%, si el lote de semilla ha sido secado al 6% de contenido de humedad.

**Temperatura.** Cuando no sea posible secar mas las semillas, por ejemplo, cuando estén a menos del 6% de contenido de humedad, o cuando el clima no permita el secado debido a un alto punto de rocío, la segunda opción es bajar la temperatura de almacenamiento.

De modo empírico, el período medio de viabilidad se dobla cada vez que la temperatura media de almacenamiento desciende 5°C en la escala a partir de las temperaturas más altas encontradas durante el secado de especies ortodoxas (aprox. 50°C) hasta 0°C.

El contenido de aceite no parece afectar la respuesta a un cambio en temperatura. Otro ejemplo de Roberts (1986) ilustra las respuestas a los cambios de temperatura (Cuadro 2.)

**Cuadro 2. Factores por los cuales la longevidad se altera por una diferencia de 5°C de temperatura media de almacenamiento en semillas de cebada y cebolla.**

<b>Rango de Temperatura</b>	<b>Factor por el cual la longevidad es alterada en cebada y cebolla *</b>
0 - 5	1.48
5 - 10	1.71
10 - 15	1.79
15 - 20	1.88
20 - 25	1.97
25 - 30	2.08
30 - 35	2.18
35 - 40	2.29
40 - 45	2.41
45 - 50	2.53

\* Para un descenso en la temperatura en los rangos indicados, la longevidad se incrementa por el factor señalado; para un incremento en la temperatura sobre los rangos indicados, la longevidad decrece por el recíproco del factor indicado. Por ejemplo, bajar la temperatura en 5°C con un aire acondicionado, duplicará aproximadamente la longevidad. Almacenando en un cuarto frío en lugar de condiciones ambientales (bajando la temperatura de 25°C a 5°C) se multiplicará el período medio de viabilidad en  $1.97 \times 1.88 \times 1.79 \times 1.71 = 11$ .

**Condiciones de almacenamiento aplicadas.** La Figura 3, rediseño de Roberts, (1972) ilustra las combinaciones de contenido de humedad y temperatura de almacenamiento, en donde el ambiente de almacenamiento puede afectar la longevidad de las semillas.

Para aplicación práctica, generalmente es necesario limitar la cantidad de diferentes condiciones de almacenamiento y llegar a un punto cercano a las condiciones óptimas. Si se consideran los tres tipos de períodos de almacenamiento presentados anteriormente, las condiciones de almacenamiento normalmente usadas son las siguientes.

**Almacenamiento a largo plazo.** Se deberán utilizar las condiciones óptimas para especies ortodoxas. Esto es con muy pocas excepciones,  $5 \pm 1\%$  de contenido de humedad y temperatura lo más baja posible. Se usa normalmente temperatura de -18°C, con equipos corrientes de congelación y de fácil aplicación (ya sean de carácter doméstico o convencionales).

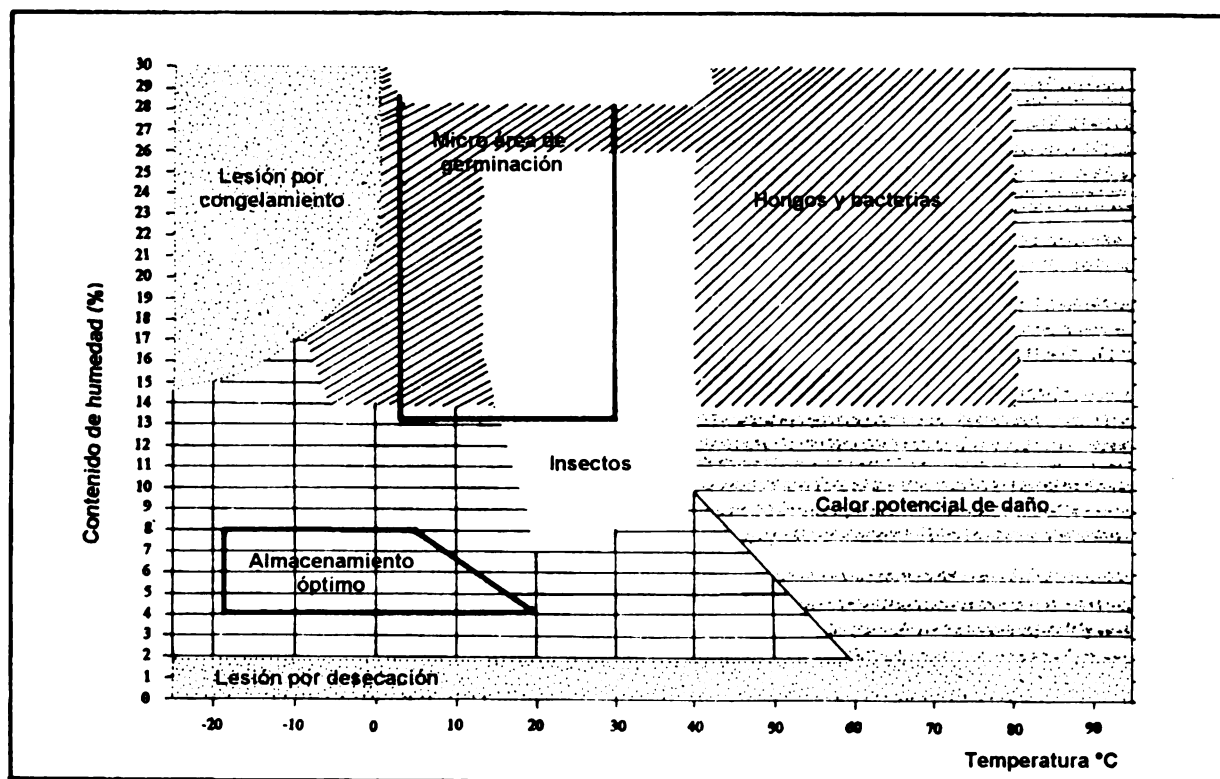


Figura 3. Relación entre el contenido de humedad y problemas de almacenamiento a diferentes temperaturas.

Debido a los altos costos del almacenamiento a largo plazo, solamente se utiliza para pequeños lotes de semillas, como para el caso de conservación de recursos genéticos o almacenamiento de material de referencia en programas de mejoramiento.

**Almacenamiento a mediano plazo.** Usualmente las semillas forestales se almacenan por más de un año, en los bancos de semillas. Aquí, en algunas especies los lotes de semillas pueden pesar hasta algunas toneladas. Por consiguiente, no es posible en todos los casos proveer condiciones óptimas de almacenamiento. Usualmente, el punto intermedio sería almacenar la semilla con un contenido de humedad entre 6-8%, preferiblemente menos del 7%, en un cuarto frío a 4°C. Si el banco de semilla manipula especies de testa dura con vida larga natural, esta se puede almacenar por un par de años, con 6-8% de contenido de humedad a la temperatura más baja posible.

**Almacenamiento por menos de un año.** Para almacenar semilla hasta la siguiente época de plantación, las semillas ortodoxas deben ser almacenadas a menos del 8% de contenido de humedad y a la temperatura más baja posible. Bajo condiciones normales, esto se debe hacer bajo sombra en un cuarto fresco o con aire acondicionado, si no existe espacio para cámara fría.



## **Envases para almacenamiento**

El objetivo será siempre mantener la semilla seca y protegida de plagas. Dado que la semilla suficientemente seca evita ataques de hongos, esto se puede lograr colocando la semilla en envases impermeables.

Normalmente el cuarto para almacenar semilla se debe proteger contra roedores. En este caso, el objetivo de los envases será proteger la semilla de absorber vapor de agua y de los ataques de insectos. Las posibilidades de almacenamiento si los insectos están dentro de las semillas, se señalan en el anexo 6.

El envase externo debe ser normalmente duro y de tamaño manejable que se ajuste a los tamaños de los lotes de semillas; por ejemplo, las cajas de plástico o metal, barriles de plástico o metal de 1 a 30 litros y para grandes lotes de semillas, tambores de 60 a 150 l.

Si la semilla está en bolsas plásticas herméticas e impermeables (bolsas gruesas plásticas laminadas) dentro del envase, no se requiere de un sellado especial en el envase externo. Si las semillas quedan sueltas en el envase, el cierre o arandela del mismo debe estar adecuado para mantener el vacío si se quiere evitar la absorción de agua. Esto normalmente sólo es posible en jarras de vidrio con plástico en el cierre para conservas, envases de un galón y los barriles plásticos azules con tapa negra y cierre de abrazadera, sólo si el empaque no es defectuoso.

La humedad relativa del cuarto es normalmente más alta que la humedad relativa de equilibrio al contenido de humedad de la semilla. Las bolsas plásticas normales (de polietileno de baja densidad, PBD) es permeable al vapor de agua. La necesidad de cierre impermeable contra el vapor de agua se incrementa con el tiempo de almacenamiento.

Si el cuarto se enfría (por ejemplo con una unidad de aire acondicionado), las diferencias en humedad relativa serán altas. La humedad relativa en un cuarto frío a 4°C es más del 90%. La humedad relativa de equilibrio para una semilla a 6% de contenido de humedad es de aproximadamente 15%.

Las diferencias en humedad relativa en almacenamiento bajo condiciones ambientales, son más bajas pero las temperaturas altas aceleran la transmisión del vapor de agua a través de los materiales plásticos.

El ejemplo de la estimación de toma (absorción) de vapor de agua presentado en el Anexo 3, muestra que la semilla con 6% de contenido de humedad, almacenada en bolsas plásticas herméticas de un grosor razonable sin envase externo, puede esperarse que gane aproximadamente el 0.3% de contenido de humedad por año si se almacena en cuarto frío (4°C, 95%HR); y ganar 3% de contenido de humedad por año si se almacena bajo condiciones ambientales (25°C, 80%HR). Por consiguiente, el almacenamiento de semilla seca en bolsas plásticas sin un envase exterior, solo es recomendable para períodos relativamente cortos.

Las bolsas plásticas deben ser cerradas con un sellador térmico. Amarrar la bolsa con una liga de caucho, etc. facilita que se pueda abrir, pero se incrementará el riesgo de absorción de agua y de pérdida de semilla.

### Construcción del cuarto de almacenamiento

El tamaño del cuarto debe ajustarse a la cantidad de semilla a almacenar en buenos años de cosecha. Generalmente la gravedad específica de las semillas está alrededor de 0.5 kg/l.

Para la conversión de volumen neto a espacio bruto de almacenamiento, incluyendo la estantería, ventilación, espacio de aire dentro y entre los envases, acceso y arreglos en el cuarto, se puede usar el factor entre 4 y 8.

Así, 2.000 kg de semilla con una gravedad específica de 0.5 kg/l necesitará un espacio bruto de almacenamiento de  $2.000 \times 2 \times (4-8) = 16 - 32 \text{ m}^3$ . El Anexo 5 presenta un ejemplo para el cálculo de la capacidad de almacenamiento para un cuarto frío. Los cuartos fríos se construyen por lo general dentro de otros edificios y son fabricados de paneles aislantes prefabricados de acuerdo con el diseño del fabricante.

Las construcciones para almacenamiento no refrigerado deben ser sombreadas y con buena ventilación alrededor de las paredes y sobre el cielo raso del cuarto. Las paredes y el cielo raso podrían ser aisladas por fuera y tener suficiente masa interna para absorber el calor que penetra a través del aislante durante el día sin un incremento excesivo de temperatura. En zonas secas, el lado externo de las paredes puede enfriarse por evaporación de agua.

La temperatura dentro de los cuartos no refrigerados debe ser monitoreada para identificar la causa de cualquier aumento excesivo de temperatura sobre la temperatura media ambiente.

Un contenedor estándar de 40' se puede emplear como un cuarto de almacenamiento temporal de semilla si se toman en cuenta las siguientes precauciones: las paredes y el techo deben ser sombreadas para evitar la acción del sol en cualquier momento. Debe haber suficiente ventilación alrededor del mismo. Cualquier material dentro del contenedor debe secarse a menos del 8% de contenido de humedad y se debe colocar dentro de envases a prueba de vapor de agua como se indicó anteriormente.

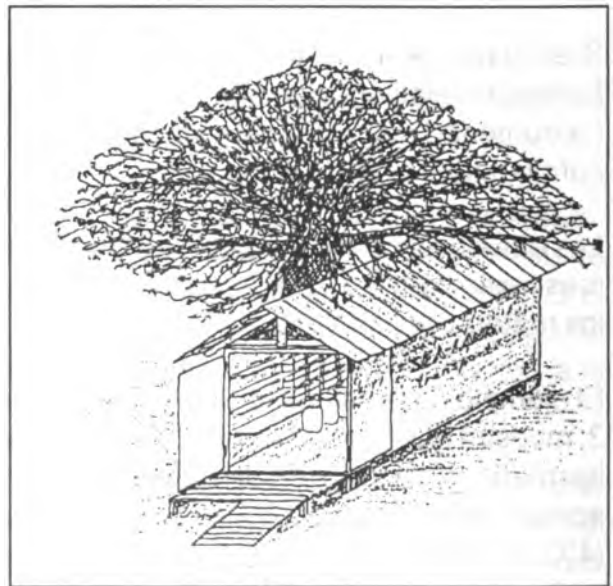


Figura 4. Un contenedor utilizado para almacenar semillas.

El almacenamiento temporal, por ejemplo en el vivero, funciona mejor colocando la semilla seca dentro de una bolsa plástica hermética dentro de un baúl metálico o dentro de una botella con tapa dentro de un cuarto bajo sombra y fresco.

## ESPECIES RECALCITRANTES

Las semillas recalcitrantes mueren si se secan a menos de ciertos límites y si su temperatura desciende a menos de ciertos límites, y muchas de ellas tienen corta vida aún bajo condiciones óptimas. Las semillas recalcitrantes no tienen latencia. No son semillas corrientes pero son pequeñas semillas en germinación o rebrotes; y deben ser tratadas como tales.

Muchas especies recalcitrantes se encuentran en los trópicos húmedos o maduran durante la estación lluviosa. Bajo condiciones naturales la semilla comenzará a crecer inmediatamente después de la dispersión y algunas veces germina aún en el árbol. Si un fruto de una especie recalcitrante es carnoso, se debe quitar la pulpa; de otra forma el fruto se limpia, con la precaución de no permitir que las semillas se sequen a menos del contenido de humedad mínimo establecido y que deben continuar con el proceso tan pronto como sea posible.

Para la mayoría de las especies recalcitrantes hay escasa información sobre los límites mínimos de contenido de humedad y temperatura, o sobre el período medio de viabilidad bajo estas condiciones. Como resultado de esto, un lote de semillas recalcitrantes muere entre la recolección y la siembra y por lo tanto raras veces se utilizan para reforestación al menos que sea a nivel local.

Actualmente el almacenaje de semillas recalcitrantes no es práctico si la semilla es sensible a bajas temperaturas. El almacenamiento de estas semillas significa mantenerlas vivas hasta que se siembren. Las principales precauciones que se deben tener en el manejo de estas especies son las siguientes:

**Planificación:** el tiempo entre la recolección y la siembra debe ser lo más corto posible. El transporte y la extracción debe ser cuidadosamente planificada y el vivero debe ser informado para tener listos los germinadores.

**Ventilación y contenido de humedad:** las semillas recalcitrantes (y sus frutos) transpiran intensamente debido a su alto contenido de humedad, por lo cual requieren de buena ventilación. Si se empacan grandes cantidades apretadamente, ocurrirá sofocación, colapso fisiológico, crecimiento de hongos y sobrecalentamiento, teniendo como resultado la muerte rápida de las semillas. Por otro lado, las semillas recalcitrantes se deterioran si su contenido de humedad se reduce demasiado o muy rápido. Esto es lo que posiblemente ocurre durante el transporte en vehículos abiertos por la acción de las corrientes de aire. No es fácil acertar con el balance correcto entre la ventilación y el mantenimiento adecuado del contenido de humedad.

Si se emplean bolsas plásticas, se deben dejar abiertas o hacerles pequeños agujeros a los lados. Las bolsas de tela o canastas son adecuadas aunque generalmente son más voluminosas. Los envases abiertos se deben cubrir con tela para reducir la pérdida de humedad durante el transporte.

**Temperatura:** se deben evitar temperaturas a menos de 20°C o sobre 35°C hasta que se establezca la temperatura límite inferior para la especie. Para algunas especies, éste límite podría ser ligeramente inferior a la temperatura más baja encontrada en el ambiente natural de la especie.

Durante el transporte aéreo se experimentan temperaturas bajas a no ser que la semilla se mantenga en la cabina. Temperaturas altas pueden deberse a la transpiración o al calentamiento directo por el sol. La buena ventilación reducirá el calentamiento debido a la transpiración. Las semillas recalcitrantes deben tenerse bajo sombra y libre del sol todo el tiempo.

**Viajes largos:** las jornadas de recolección para semilla recalcitrante no debe durar mas de algunos días. Si esto no se puede evitar, se debe realizar trabajo extra en la inspección diaria y el procesamiento de las recolecciones efectuadas. Si se nota un deterioro y crecimiento de hongos, los lotes de semillas deben ser extendidos para mejor ventilación. Los frutos carnosos en deterioro se deben separar de los frutos sanos y se deben despulpar de inmediato. Las cápsulas deben ser desechadas tan pronto como hayan abierto lo suficiente para que sus semillas se puedan extraer. Si las semillas empiezan a germinar durante el viaje, se deben proteger almacenándolas en envases rígidos o canastas forradas con papel periódico u otro material absorbente para mantener la humedad. Algunas semillas se deterioran tan rápido, que la mejor manera de transportarlas es en condición de germinación en un medio húmedo.

**Investigación:** Si la especie se va a utilizar para reforestación, se aconseja definir los límites de la especie en cuanto a contenido de humedad , temperatura y período medio de viabilidad. Un resumen de un calendario de investigación puer ser como sigue:

Determinar el menor contenido de humedad aceptable. Tomar muestras de un lote de semillas y determinar el contenido de humedad y el porcentaje de germinación sucesivamente a medida que los frutos o semillas se secan.

Determinar la temperatura mínima aceptable. Tomar muestras sucesivas y probar el porcentaje de germinación a medida que se enfrían los frutos o semillas al menor contenido de humedad aceptable (se pueden encontrar en esta fase interacciones entre la temperatura y contenido de humedad aceptable. En este caso, se procede con algunas combinaciones de contenido de humedad y temperatura).

Determinar el período de viabilidad bajo condiciones óptimas. Tomar muestras regularmente y probar el porcentaje de germinación mientras que los frutos o semillas están almacenados con el menor contenido de humedad y temperatura aceptable.

Una especie que pareciera ser recalcitrante puede convertirse en solamente "difícil". Un ejemplo es una especie que se pueda secar siempre y cuando la temperatura sea la correcta; o se pueda enfriar siempre y cuando el contenido de humedad sea correcto. Otro ejemplo, es una especie que se pueda secar si la semilla se recolecta antes de su dispersión natural.

## EQUIPO Y MATERIALES

A continuación se presenta una lista con un ejemplo de cada tipo de equipo y materiales utilizados para el almacenamiento de semillas forestales. Modelos similares se pueden conseguir y por lo general es una ventaja contar con un proveedor local de la mayor cantidad posible de equipo.

Esta lista es parte de una base de datos sobre equipo para un centro de semillas forestales, compilada por el Centro de Semillas Forestales del Danida. La base de datos incluye equipo para recolección, pretratamientos, pruebas de semillas, procesamiento y distribución.

### **Frasco de vidrio con empaque de caucho para conservas.**

Especificaciones: 0.5 a 3.0 litros, con boca ancha.

Asegurarse que la tapa y el empaque de caucho sella el frasco adecuadamente. Adquirir empaques de caucho extras. Los frascos de vidrio no son una solución ideal por cuanto se pueden romper.



**Garrafa plástica.**

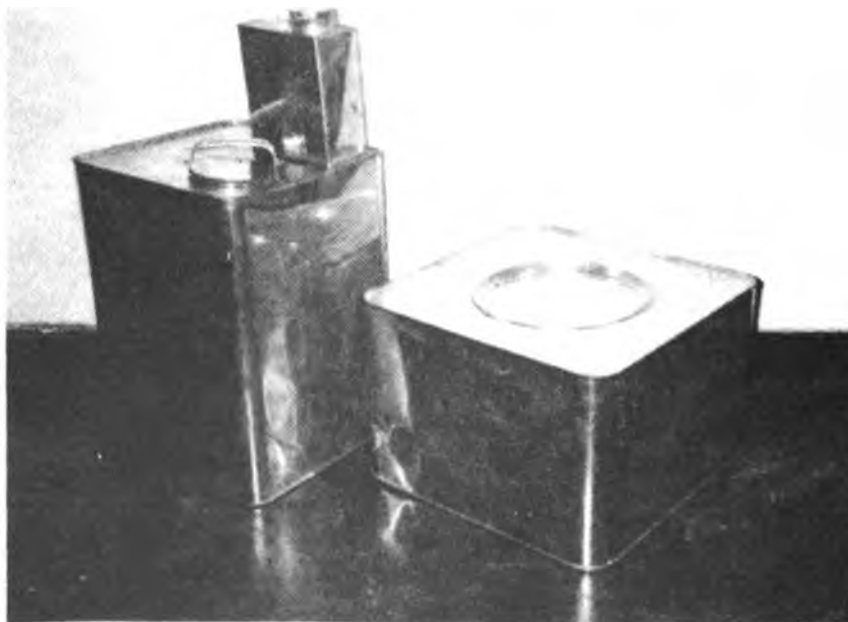
Especificaciones: capacidad de 10 a 20 litros, plásticas con tapa de rosca ó metálica con cierre de abrazadera; la tapa debe tener una buena arandela.

Difícil de llenar y desocupar por su boca estrecha.

**Tarro metálico:**

Especificaciones: de 2 a 10 litros, boca ancha con arandela.

Asegurarse que las tapas cierren ajustadamente y tratar de no abombarla. Las semillas empacadas en bolsas plásticas pueden mantenerse en tarros con boca ancha, pero los filos pueden rasgar las bolsas y las bocas anchas pueden ser mas difíciles de cerrar ajustadamente. Los tarros de metal se deben proteger con anticorrosivos.



### **Caneca o tambor plástico con tapa:**

Especificaciones: generalmente barriles azules de 60 a 150 litros. Tapa negra con arandela y cerrado con anillo de abrazadera.

Los barriles se utilizan para el transporte de químicos industriales. Se pueden encontrar en fábricas que utilizan químicos o en el mercado local. Asegurarse que la arandela de caucho esté todavía suave y sin abolladuras. El empaque debe facilitar el mantenimiento del vacío cuando el anillo de abrazadera se cierra.



### **Botella de cuello ancho**

Especificaciones: hechas de PVC transparente, cuadradas, con tapa de rosca de polietileno.

Capacidad de 50 a 1000 ml. Buena calidad, no se rompe fácil, limitada por su máximo tamaño (1 litro).



### Caja plástica con tapa

Especificaciones: tamaños de 42 x 32 x 12,5 cm y 42 x 32 x 21 cm.

Ambas cajas apropiadas para almacenar semilla empacada en bolsas plásticas gruesas o bolsas plásticas laminadas (hasta 3 kg de bolsas) sobre estantes. Dos o tres cajas con tapa se pueden almacenar una sobre otra en la estantería.



### Bolsas plásticas de polietileno

Especificaciones: Polietileno de baja densidad (PBD), de 0.07 a 0.1 mm de gruesas, con máxima capacidad de 3 a 4 litros.

Se pueden adquirir hechas o hacerlas de hojas de plástico si la barra selladora de la máquina es suficientemente ancha y sella bien. Las bolsas mas grandes requieren plásticos más gruesos. El plástico de 0.07 mm tiene transmisión de vapor de agua de aproximadamente 2.7 g de agua/m<sup>2</sup> por día a 25°C y 90% de diferencia de humedad relativa. El plástico de 0.1 en pliegos, tiene una transmisión de aprox. 1.9 g/m<sup>2</sup> bajo las mismas condiciones.



### Sellador de bolsas plásticas

Especificaciones: algunos vienen con un pedal, corriente de 115, 60 Hz, una barra de sellado de 23", incluyendo una cuchilla.

Puede requerir de transforma-dor de corriente de acuerdo con el modelo.





## MANTENIMIENTO DE LA IDENTIDAD DE LOS LOTES ALMACENADOS

La identidad de un lote de semillas incluye la información sobre la fuente semillera y de la recolección, Stubsgaard y Baadsgaard (1989), Poulsen (1994). Esta información generalmente se relaciona con el número de identidad del lote o el de la fuente semillera y el año de recolección.

Además de éste número de identidad, también se incluyen otros datos cuando se refiere al lote de semilla o se elaboran las etiquetas. Esta información sirve para verificar errores de impresión u otras faltas relacionadas con el número de identidad. Usualmente esto se utiliza cuando se escribe en forma completa la fuente de la especie y de la semilla.

De nada sirve si cualquier lote o envase con semilla ha perdido su identidad. Es necesario desarrollar sistemas estandarizados bien seguros para mantener la identidad de los lotes de semilla, especialmente en el cuarto, donde el lote de semilla permanece más tiempo que la memoria de cualquier empleado.

Cada bolsa plástica o envase debe llevar dos etiquetas inmediatamente después de ser llenados: una colocada afuera y la otra dentro y junto a la semilla. Las etiquetas y el texto debe ser a prueba de agua. Las etiquetas deben incluir por lo menos número del lote, especie y fuente semillera.

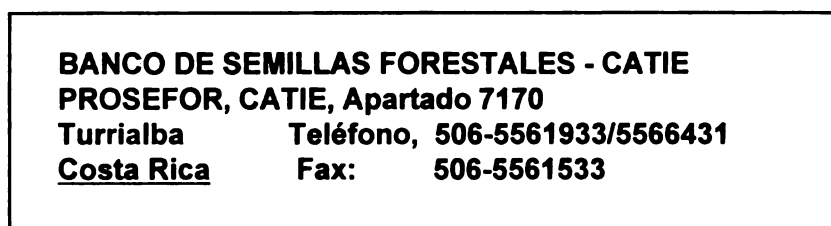


Figura 5. Ejemplo de una etiqueta impresa.

Es conveniente anotar el número de envases incluidos (Ej: uno de cuatro). Información adicional puede ser: propietario, peso, recolector, fecha de recolección, destino, referencia de documentos anexos, etc.).

Es ventajoso contar con suficientes etiquetas idénticas para cada lote de semilla. Un sistema simple es emplear una retícula como marca original y una pequeña máquina de impresión.

Las etiquetas sobrantes se deben destruir inmediatamente porque se pueden prestar a confusión.

Es necesario asegurar que todos los lotes de semillas se mantengan separados. Esto puede ser particularmente difícil en el caso de recolecciones para propósitos de investigación, donde existen muchos lotes pequeños separados, y una sólo semilla en el lote equivocado puede alterar el resultado de la investigación.

Si el almacenamiento se hace en voluminosas cantidades abiertas, el área de almacenamiento entre los lotes debe ser limpiada y se deben tomar medidas efectivas para evitar la mezcla de los mismos.

El almacenista deberá mantener un registro de inventario de semilla, en donde cada lote debe tener una hoja indicando su identidad. Sobre esta hoja se deben registrar los cambios que ocurran en el lote en almacenamiento. El anexo 7 muestra un ejemplo de la hoja de registro para un lote de semillas.

### LITERATURA SELECCIONADA

**Cromarty, A.S. et al.** 1982. The design of seed storage facilities for genetic conservation. The International Board for Plant Genetic Resources, AGPG: IBPGR/82/23, Rome, IBPGR Secretariat. 100p.

**Robbins, A.M.J.** 1986. Tree Seed Handling, National Tree Seed Project. Field document no. 11. Katmandu, Nepal.

**Roberts, E.H.** ed. 1972. Viability of seeds, Syracuse University Press, USA.

**Roberts, E.H.** 1986. In: Physiology of seed deterioration, ed.: Mc Donald, M.B. jr. And C.J. Nelson, Crop Science Society of America. Special Publication no.11.

**Willan, R.L.** 1985. A guide to forest seed handling. Rome, Italy. FAO Forestry Paper 20/2. .

## ANEXO 1

## Cuantificación simple del comportamiento esperado de semilla almacenada.

Como se mostró anteriormente, una curva donde se calcula el porcentaje de germinación con el tiempo de un lote de semilla bajo condiciones constantes de almacenamiento será sigmoide (tres lotes en la Fig. 6A).

Si los mismos desarrollos en porcentaje de germinación se calculan sobre una escala de probabilidad contra el tiempo sobre una escala lineal como en la Figura 6B, la distribución normal acumulada resulta en una línea recta. Hojas de papel gráfico con una escala de probabilidad sobre uno de los ejes y una escala lineal sobre el otro eje, puede adquirirse en el comercio.

Investigaciones recientes indican que a temperatura y contenido de humedad constantes, la pendiente de la línea es específica para cada especie. Monitoreando y calculando la caída en el porcentaje de germinación de los lotes de semillas almacenados, puede por consiguiente ser utilizada para estimar y establecer características generales para cada especie cuando la temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad de diferentes lotes de cada especie son constantes.

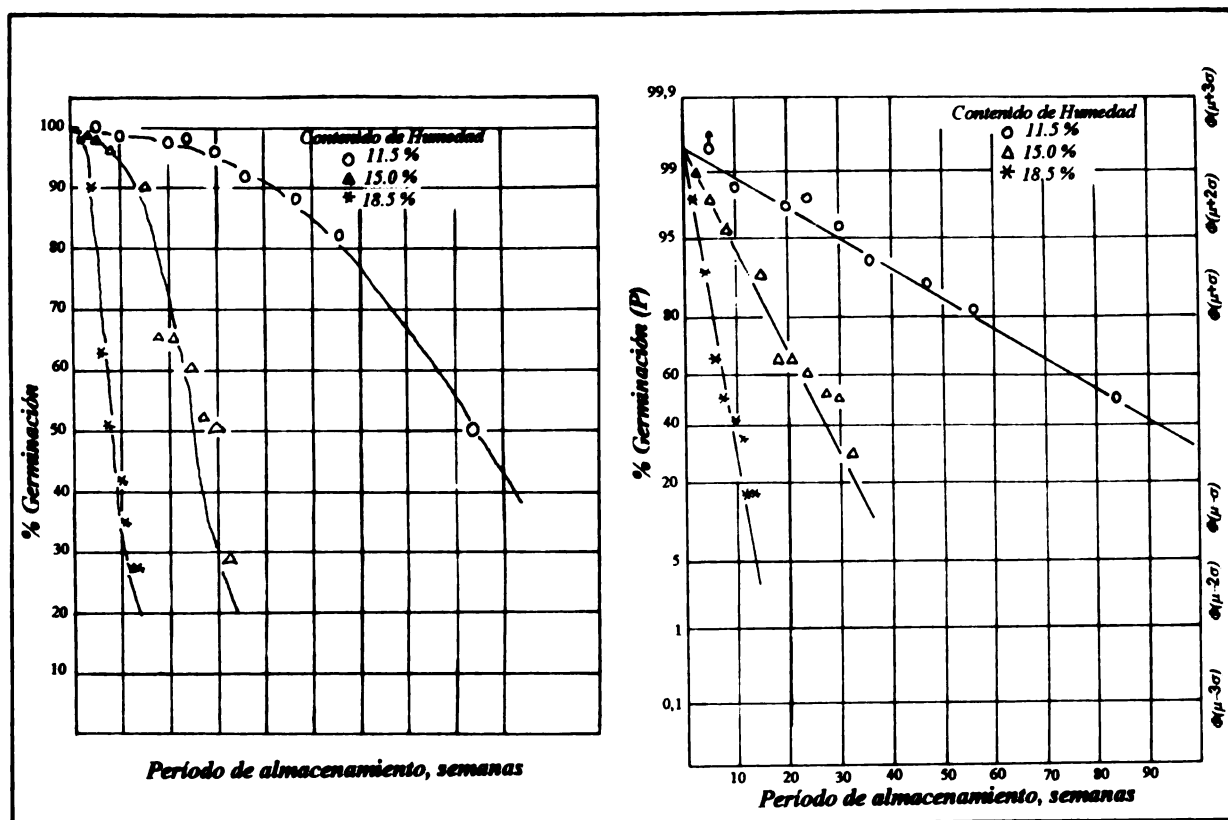


Figura 6. Curvas de sobrevivencia de semillas de frijoles almacenados a 25°C con diferentes contenidos de humedad. En B, el porcentaje de germinación se transforma a la escala de probabilidad (tomado de Roberts, 1972).

## ANEXO 2

### Ejemplo de la cuantificación del efecto de tratamientos

En la Figura 2 el tratamiento (almacenamiento a baja temperatura) hace que el envejecimiento ocurra a una tasa mas lenta. Suponiendo un tratamiento que reducirá instantáneamente el porcentaje de germinación (por ejemplo, someter las semillas a 80°C por una hora, esto puede ocurrir al secarlas al sol en los trópicos); Ej: un envejecimiento inmediato de las semillas sin alterar la tasa de envejecimiento después del tratamiento. Los efectos de tales tratamientos algunas veces se cuantifican, mediante la comparación de las caídas del porcentaje de germinación después de los tratamientos. Puesto que el efecto del envejecimiento sobre el porcentaje de germinación no es lineal, estas caídas no necesariamente dicen algo sobre la longevidad subsecuente. Los siguientes ejemplos ilustran este problema.

#### Ejemplo 1

Se tiene un lote de semilla en almacenaje. Después de 1.5 años se toma una muestra y se somete a un tratamiento A (Ej. el ya mencionado; de 80°C durante una hora). Después de tres años de almacenamiento, se toma otra muestra y se somete a otro tratamiento B. El porcentaje de germinación (G%) se prueba antes y después de los tratamientos y los resultados son los siguientes:

Años de almacen.	Tratamiento	G% antes tratam.	G% después tratam.	% caída en G %
1.5	A	99	92	7
3.0	B	82	50	32

Inicialmente esto conduce a concluir que el tratamiento A a 1.5 años de almacenado fue menos dañino que B a 3.0 años. Si los dos tratamientos fueran idénticos, otra conclusión podría ser que sería preferible realizar el tratamiento mas temprano durante el almacenamiento. Pero cualquier tratamiento que reduzca el porcentaje de germinación, reducirá las posibilidades de almacenaje subsecuente y la comparación entre los tratamientos debe ser por consiguiente, basada en su influencia sobre un tiempo estimado de almacenamiento. Ver el ejemplo No.2.

## Ejemplo 2

El porcentaje de germinación del lote de semilla en almacenaje mencionado en el ejemplo anterior, sigue la curva N en la Figura 7.

Si la semilla es tratada en el tiempo A (1.5 años), el porcentaje de germinación bajará y seguirá la curva T. Si la semilla se trata en el tiempo B (3 años) el porcentaje de germinación también bajará y seguirá la curva T. Es obvio, que esto no afecta el período de viabilidad, ya sea tratando la semilla con A ó B. El período medio de viabilidad se reducirá en un año para cualquier caso.

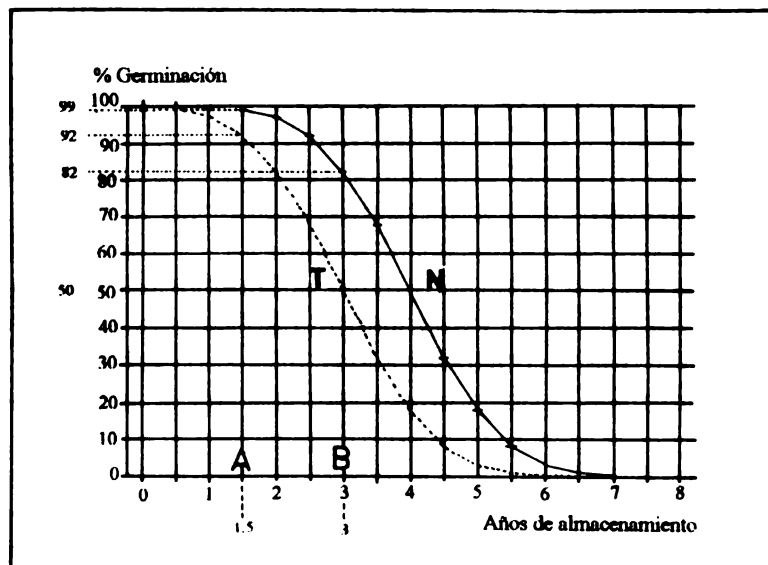


Figura 7. Porcentaje de germinación

El problema de comparar los dos tratamientos (dado que siguen la misma curva después del tratamiento) puede resolverse de cualquiera de las siguientes formas (ejemplos 3 y 4; no considere el ejemplo 3 si no tiene conocimiento básico de matemáticas estadísticas).

## Ejemplo 3

La función  $F(t) = \Phi((\tau - \mu)/s)$  es una distribución normal como la presentada en la Figura 1 para semillas muertas.

El porcentaje de germinación a tiempo  $t$ ,  $G\%(t)$  durante el almacenamiento se puede expresar como:  $G\%(t) = 100 * (1 - \Phi((\tau - \mu) / \sigma))$ .

Como se comparan dos tratamientos que siguen la misma curva,  $\mu$  y  $\sigma$  no son de interés. Inicialmente interesa comparar la reducción en tiempo estimado de almacenamiento.

El mismo tratamiento se efectúa en dos tiempos diferentes durante el almacenamiento: A indica una baja de 99 a 92 de  $G\%$  y B de 82 a 50  $G\%$ . Si usamos la anterior fórmula para  $G\%(\tau)$ , y llamamos  $\Phi((A - \mu) / \sigma)$  (% de semilla muerta al momento A/100)  $\Phi(AN)$ , se encuentra:

$$\begin{array}{ll} \Phi(AN) = 0.01 & \Phi(BN) = 0.18 \\ \Phi(AT) = 0.08 & \Phi(BT) = 0.50 \end{array}$$

Si se utiliza la tabla sobre distribución normal en la página anterior, se encuentran los valores:

$$\begin{array}{ll} AN = -2.33 & BN = -0.92 \\ AT = -1.41 & BT = 0.00 \end{array}$$

Se desea comparar los valores (AT-AN) con (BT-BN):

$$AT-AN = 0.92 \quad BT-BN = 0.92$$

Como los valores son iguales, no hay diferencia en el efecto del tratamiento sobre el período de viabilidad.

Estas comparaciones son válidas solamente si el porcentaje de germinación “sigue la misma curva” después del tratamiento (y si las condiciones de almacenamiento, contenido de humedad, efecto del tratamiento, etc., son las mismas). Si en términos matemáticos:  $\mu$  y  $\sigma$  son diferentes, estos factores también se deben tomar en consideración.

#### Ejemplo 4

Otra posibilidad se basa en calcular el porcentaje de germinación durante el almacenamiento sobre una escala de probabilidad como se muestra en el Anexo 1. Entonces, las dos curvas de la Figura 7 serán lineales como se presenta en la Figura 8. Aquí las comparaciones se pueden hacer visualmente: los tratamientos con efecto igual sobre el tiempo de viabilidad, tienen la misma caída vertical (en este caso 26 mm) y tratamientos por un período (almacenamiento) con igual efecto en el tiempo de viabilidad, serán paralelas independientes del porcentaje de germinación inicial  $m$  y  $s$  del tiempo medio de viabilidad, pueden ser estimadas mediante la realización de pruebas de germinación durante el tiempo.

Un aspecto general surge cuando se aplica un análisis estadístico a los resultados de germinación al comparar tratamientos. Es difícil lograr resultados significativos cuando el porcentaje de caída de germinación es menos de 3% (Ej. de 99.65 a 97%, si el tratamiento se realiza al año de almacenamiento, Figura 11), y más bien menos laborioso lograr resultados significativos cuando la caída es de 36% (Ej. de 68 a 32% a los 3.5 años, Figura 11). Esto implica que las pruebas deben ser planificadas de tal forma que los resultados de germinación están uniformemente distribuidos alrededor del 50% de germinación, evitando los extremos, ligeramente por debajo de 100% y por encima de 0%.

Distribución normal

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$$

x ≤ 0

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-0.0	0.39 000	0.49 601	0.49 202	0.48 803	0.48 405	0.48 006	0.47 608	0.47 210	0.46 812	0.46 414
-0.1	0.46 017	0.45 620	0.45 224	0.44 828	0.44 433	0.44 038	0.43 644	0.43 251	0.42 858	0.42 465
-0.2	0.42 074	0.41 683	0.41 294	0.40 905	0.40 517	0.40 129	0.39 743	0.39 358	0.38 974	0.38 591
-0.3	0.38 209	0.37 828	0.37 448	0.37 070	0.36 693	0.36 317	0.35 942	0.35 569	0.35 197	0.34 827
-0.4	0.34 458	0.34 090	0.33 724	0.33 360	0.32 997	0.32 636	0.32 276	0.31 918	0.31 561	0.31 207
-0.5	0.30 854	0.30 503	0.30 153	0.29 806	0.29 460	0.29 116	0.28 774	0.28 434	0.28 096	0.27 760
-0.6	0.27 423	0.27 093	0.26 763	0.26 433	0.26 109	0.25 785	0.25 463	0.25 143	0.24 823	0.24 510
-0.7	0.24 196	0.23 881	0.23 576	0.23 270	0.22 965	0.22 663	0.22 363	0.22 065	0.21 770	0.21 476
-0.8	0.21 186	0.20 897	0.20 611	0.20 327	0.20 045	0.19 766	0.19 489	0.19 215	0.18 943	0.18 673
-0.9	0.18 406	0.18 141	0.17 879	0.17 619	0.17 361	0.17 106	0.16 853	0.16 602	0.16 354	0.16 109
-1.0	0.15 866	0.15 623	0.15 386	0.15 150	0.14 917	0.14 686	0.14 457	0.14 231	0.14 007	0.13 786
-1.1	0.13 167	0.12 950	0.12 736	0.12 524	0.12 314	0.12 107	0.11 902	0.11 700	0.11 500	0.11 302
-1.2	0.11 307	0.11 114	0.10 925	0.10 739	0.10 555	0.10 373	0.10 193	0.10 016	0.09 841	0.09 667
-1.3	0.09 680	0.09 510	0.09 342	0.09 176	0.09 012	0.08 851	0.08 691	0.08 534	0.08 379	0.08 226
-1.4	0.08 080	0.07 927	0.07 776	0.07 626	0.07 477	0.07 330	0.07 185	0.07 042	0.06 900	0.06 760
-1.5	0.06 681	0.06 532	0.06 386	0.06 241	0.06 097	0.05 955	0.05 814	0.05 674	0.05 536	0.05 399
-1.6	0.05 480	0.05 337	0.05 196	0.05 056	0.04 917	0.04 780	0.04 644	0.04 510	0.04 377	0.04 246
-1.7	0.04 457	0.04 323	0.04 191	0.04 061	0.03 932	0.03 805	0.03 680	0.03 556	0.03 434	0.03 313
-1.8	0.03 393	0.03 271	0.03 151	0.03 032	0.02 915	0.02 800	0.02 686	0.02 574	0.02 463	0.02 354
-1.9	0.02 872	0.02 762	0.02 654	0.02 548	0.02 444	0.02 341	0.02 240	0.02 140	0.02 042	0.01 946
-2.0	0.02 273	0.02 174	0.02 077	0.01 982	0.01 888	0.01 795	0.01 704	0.01 614	0.01 526	0.01 440
-2.1	0.01 786	0.01 698	0.01 612	0.01 528	0.01 445	0.01 363	0.01 282	0.01 202	0.01 124	0.01 048
-2.2	0.01 390	0.01 313	0.01 238	0.01 164	0.01 091	0.01 020	0.00 950	0.00 881	0.00 814	0.00 749
-2.3	0.01 072	0.01 004	0.00 937	0.00 871	0.00 806	0.00 742	0.00 679	0.00 617	0.00 556	0.00 496
-2.4	0.00 820	0.00 758	0.00 700	0.00 643	0.00 588	0.00 534	0.00 481	0.00 429	0.00 378	0.00 328
-2.5	0.00 621	0.00 564	0.00 510	0.00 458	0.00 407	0.00 357	0.00 308	0.00 260	0.00 213	0.00 167
-2.6	0.00 466	0.00 413	0.00 362	0.00 312	0.00 263	0.00 215	0.00 168	0.00 122	0.00 077	0.00 033
-2.7	0.00 347	0.00 296	0.00 247	0.00 200	0.00 154	0.00 110	0.00 066	0.00 023	0.00 000	0.00 000
-2.8	0.00 256	0.00 208	0.00 162	0.00 118	0.00 075	0.00 034	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0.00 000
-2.9	0.00 187	0.00 142	0.00 100	0.00 060	0.00 022	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0.00 000
-3.0	0.00 133	0.00 094	0.00 060	0.00 032	0.00 011	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0.00 000
-3.1	0.00 097	0.00 064	0.00 040	0.00 022	0.00 011	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0.00 000
-3.2	0.00 069	0.00 046	0.00 028	0.00 016	0.00 009	0.00 005	0.00 003	0.00 002	0.00 001	0.00 001
-3.3	0.00 048	0.00 031	0.00 019	0.00 011	0.00 006	0.00 004	0.00 003	0.00 002	0.00 001	0.00 001
-3.4	0.00 034	0.00 022	0.00 014	0.00 008	0.00 005	0.00 003	0.00 002	0.00 001	0.00 001	0.00 001
-3.5	0.00 023	0.00 015	0.00 009	0.00 005	0.00 003	0.00 002	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001
-3.6	0.00 016	0.00 010	0.00 006	0.00 003	0.00 002	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001
-3.7	0.00 011	0.00 007	0.00 004	0.00 002	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001
-3.8	0.00 007	0.00 004	0.00 002	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001
-3.9	0.00 005	0.00 003	0.00 002	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001	0.00 001

x ≥ 0

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.39 000	0.50 000	0.50 798	0.51 197	0.51 593	0.51 984	0.52 372	0.52 759	0.53 144	0.53 526
0.1	0.53 983	0.54 380	0.54 776	0.55 172	0.55 567	0.55 962	0.56 356	0.56 749	0.57 141	0.57 531
0.2	0.57 926	0.58 317	0.58 706	0.59 095	0.59 483	0.59 871	0.60 257	0.60 642	0.61 026	0.61 409
0.3	0.61 791	0.62 172	0.62 552	0.62 930	0.63 307	0.63 683	0.64 058	0.64 431	0.64 803	0.65 173
0.4	0.65 541	0.65 910	0.66 276	0.66 640	0.67 003	0.67 364	0.67 724	0.68 082	0.68 439	0.68 793
0.5	0.69 146	0.69 497	0.69 847	0.70 194	0.70 540	0.70 884	0.71 226	0.71 566	0.71 904	0.72 240
0.6	0.72 575	0.72 907	0.73 237	0.73 563	0.73 889	0.74 213	0.74 537	0.74 857	0.75 175	0.75 490
0.7	0.75 803	0.76 115	0.76 424	0.76 730	0.77 033	0.77 337	0.77 637	0.77 935	0.78 230	0.78 524
0.8	0.78 814	0.79 109	0.79 399	0.79 687	0.79 973	0.80 254	0.80 531	0.80 807	0.81 081	0.81 352
0.9	0.81 621	0.81 889	0.82 151	0.82 408	0.82 661	0.82 910	0.83 157	0.83 401	0.83 642	0.83 881
1.0	0.84 124	0.84 375	0.84 624	0.84 870	0.85 113	0.85 353	0.85 591	0.85 826	0.86 059	0.86 289
1.1	0.86 513	0.86 750	0.86 984	0.87 216	0.87 445	0.87 671	0.87 894	0.88 114	0.88 331	0.88 546
1.2	0.88 759	0.88 966	0.89 171	0.89 373	0.89 572	0.89 768	0.89 961	0.90 151	0.90 338	0.90 522
1.3	0.90 705	0.90 890	0.91 072	0.91 251	0.91 427	0.91 600	0.91 770	0.91 937	0.92 101	0.92 262
1.4	0.92 421	0.92 579	0.92 734	0.92 886	0.93 035	0.93 181	0.93 324	0.93 464	0.93 601	0.93 736
1.5	0.93 870	0.94 006	0.94 139	0.94 269	0.94 396	0.94 520	0.94 641	0.94 759	0.94 874	0.94 986
1.6	0.95 095	0.95 210	0.95 322	0.95 431	0.95 537	0.95 640	0.95 740	0.95 837	0.95 931	0.96 022
1.7	0.96 111	0.96 206	0.96 298	0.96 387	0.96 473	0.96 556	0.96 636	0.96 712	0.96 785	0.96 855
1.8	0.96 921	0.97 000	0.97 076	0.97 149	0.97 219	0.97 286	0.97 350	0.97 411	0.97 469	0.97 524
1.9	0.97 578	0.97 633	0.97 685	0.97 734	0.97 781	0.97 826	0.97 869	0.97 910	0.97 949	0.97 986
2.0	0.97 997	0.98 034	0.98 068	0.98 100	0.98 130	0.98 158	0.98 184	0.98 208	0.98 230	0.98 250
2.1	0.98 269	0.98 286	0.98 301	0.98 314	0.98 326	0.98 336	0.98 344	0.98 350	0.98 355	0.98 359
2.2	0.98 362	0.98 366	0.98 369	0.98 371	0.98 372	0.98 373	0.98 373	0.98 373	0.98 372	0.98 370
2.3	0.98 368	0.98 363	0.98 358	0.98 352	0.98 346	0.98 339	0.98 332	0.98 324	0.98 316	0.98 307
2.4	0.98 298	0.98 288	0.98 278	0.98 267	0.98 256	0.98 244	0.98 232	0.98 219	0.98 206	0.98 192
2.5	0.98 179	0.98 165	0.98 151	0.98 137	0.98 122	0.98 107	0.98 092	0.98 076	0.98 060	0.98 044
2.6	0.98 028	0.98 012	0.97 995	0.97 977	0.97 958	0.97 938	0.97 917	0.97 895	0.97 872	0.97 848
2.7	0.97 823	0.97 798	0.97 771	0.97 743	0.97 714	0.97 684	0.97 653	0.97 621	0.97 588	0.97 554
2.8	0.97 520	0.97 485	0.97 449	0.97 412	0.97 374	0.97 335	0.97 295	0.97 254	0.97 212	0.97 169
2.9	0.97 125	0.97 082	0.97 038	0.96 993	0.96 946	0.96 898	0.96 849	0.96 798	0.96 746	0.96 693
3.0	0.96 639	0.96 584	0.96 528	0.96 471	0.96 413	0.96 354	0.96 294	0.96 232	0.96 169	0.96 105
3.1	0.96 040	0.95 975	0.95 908	0.95 840	0.95 771	0.95 701	0.95 630	0.95 558	0.95 484	0.95 409
3.2	0.95 333	0.95 258	0.95 181	0.95 103	0.95 024	0.94 943	0.94 860	0.94 775	0.94 688	0.94 599
3.3	0.94 508	0.94 419	0.94 328	0.94 235	0.94 140	0.94 043	0.93 944	0.93 843	0.93 740	0.93 635
3.4	0.93 528	0.93 423	0.93 316	0.93 207	0.93 096	0.92 982	0.92 866	0.92 747	0.92 626	0.92 502
3.5	0.92 378	0.92 253	0.92 126	0.91 997	0.91 865	0.91 730	0.91 593	0.91 454	0.91 312	0.91 168
3.6	0.91 022	0.90 874	0.90 723	0.90 570	0.90 414	0.90 256	0.90 096	0.89 933	0.89 767	0.89 598
3.7	0.89 427	0.89 258	0.89 086	0.88 911	0.88 733	0.88 552	0.88 368	0.88 181	0.87 991	0.87 798
3.8	0.87 602	0.87 407	0.87 209	0.87 008	0.86 804	0.86 597	0.86 387	0.86 174	0.85 958	0.85 739
3.9	0.85 517	0.85 293	0.85 066	0.84 836	0.84 602	0.84 365	0.84 125	0.83 882	0.83 636	0.83 387

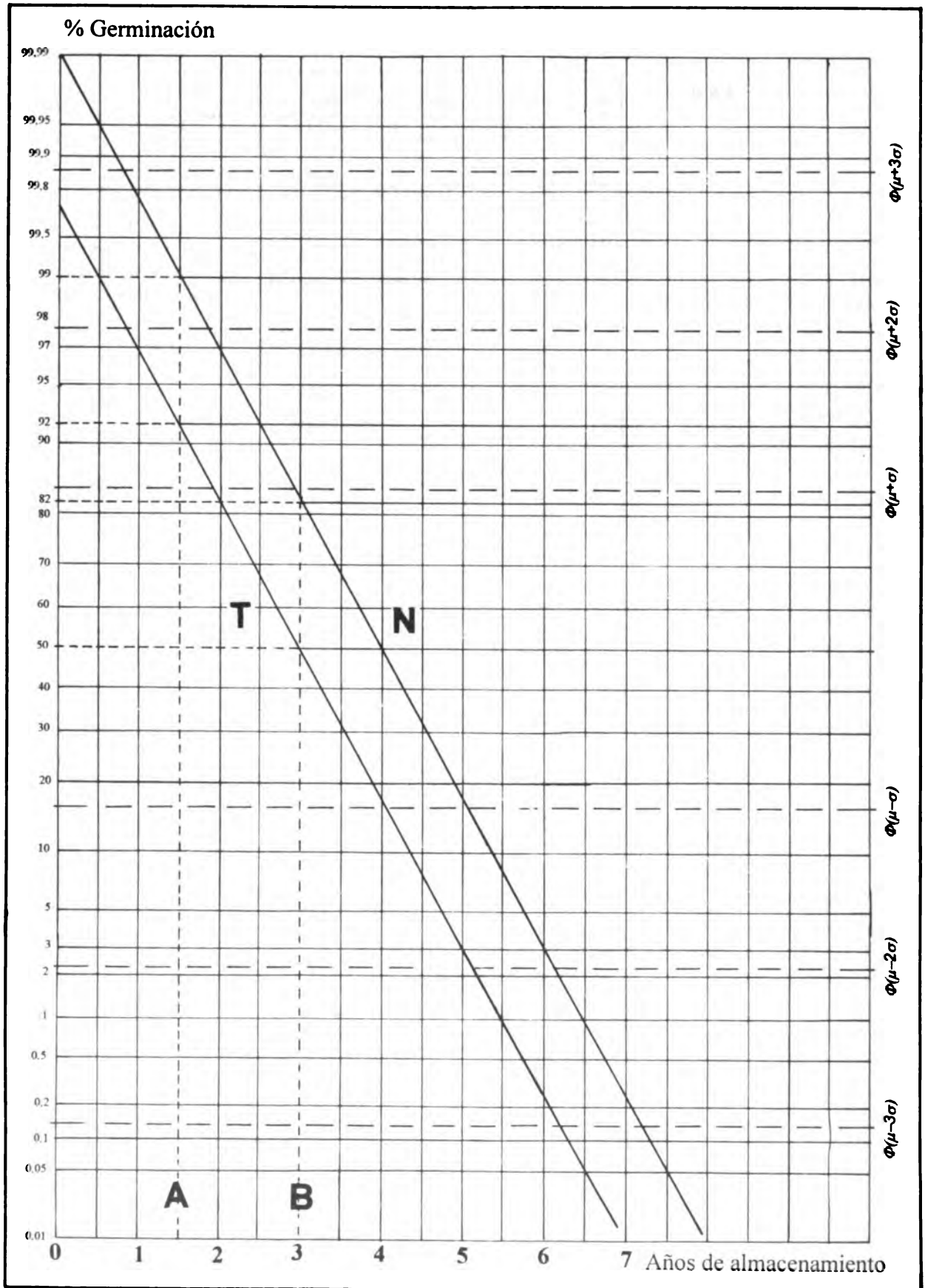


Figura 8. La figura 7 pasada a papel gráfico con escala de probabilidad.



### ANEXO 3

#### Ejemplo sobre la estimación de absorción de vapor de agua a través de bolsas plásticas

El grosor de las bolsas plásticas se mide generalmente en mm,  $\mu\text{m}$ , micron, mil, thou o pulgadas. Las relaciones entre si son las siguientes:

$$0.025 \text{ mm} = 25 \mu\text{m} = 25 \text{ micron} = 1 \text{ mil} = 1 \text{ thou} = 0.001 \text{ pulgada}$$

La permeabilidad del plástico al vapor de agua (Tasa de Transmisión de Vapor de Agua, TTVA), generalmente se mide en  $\text{g H}_2\text{O}/\text{m}^2$  por 24 h a  $38^\circ\text{C}$  y 90% de diferencia de HR (0% de HR en un lado y 90% de HR en el otro). Bolsas plásticas corrientes que se pueden sellar de 0.07 mm y bolsas de buena calidad y de polietileno de baja densidad (PBD), tiene una transmisión de menos de  $7 \text{ g}/\text{m}^2$  en 24 h bajo esas condiciones (las bolsas plásticas laminadas mencionadas anteriormente, tienen una TTVA similar, pero con una menor tasa de transmisión de  $\text{CO}_2$  que las PBD).

La TTVA es de aproximadamente la mitad cuando el grosor del plástico se dobla. De modo empírico, la TTVA se reduce a la mitad cuando la temperatura se baja en  $10^\circ\text{C}$ .

La tasa de transmisión es proporcional a la presión parcial de vapor de agua. En el diagrama IX del Anexo 8 se puede encontrar la presión parcial de vapor de agua a diferentes combinaciones de temperatura/HR (a  $30^\circ\text{C}$  y 90% de HR, es de 59.6 mbar).

Ejemplo:

Se toman dos bolsas selladas de PBD de 0.07 mm de grueso con un kg de semilla seca. Una bolsa se almacena bajo condiciones ambientales ( $25^\circ\text{C}$  y 80% de HR) y la otra en un cuarto frío ( $4^\circ\text{C}$  y 95% de HR).

Las bolsas pueden ser 15 x 15 cm y 7 cm de grueso. Esto daría una superficie de  $0.09 \text{ m}^2$  por bolsa;  $0.09 \text{ m}^2 * 7 \text{ g agua}/\text{m}^2/\text{día} = 0.63 \text{ g}/\text{día}$  a través de la superficie de una bolsa plástica a  $38^\circ\text{C}$  y 90% de HR.

Para ajustar a diferentes temperaturas, se utilizará el principio empírico mencionado. Se tendrá que reducir la transmisión por un factor 6.8 a  $4^\circ\text{C}$  y un factor 2.6 a  $25^\circ\text{C}$ .

4°C:

---


$$0.63\text{g}/\text{día} / 6.8 = 0.09 \text{ g}/\text{día}$$

25°C:

---


$$0.63\text{g}/\text{día} / 2.6 = 0.24 \text{ g}/\text{día}$$

Si la semilla dentro de la bolsa tiene 6% de contenido de humedad, la humedad relativa adentro será aproximadamente de 15% (ver las isotermas de sorción, Anexo 8). Por consiguiente, la transmisión tendrá que ser reducida proporcionalmente a la reducción de 59.2 mbar de presión parcial.

4°C, 15% HR = 1.0 mbar

4°C, 95% HR = 5.2 mbar

---

diferencia = 4.2 mbar

25°C, 15% HR = 4.8 mbar

25°C, 80% HR = 25.2 mbar

---

diferencia = 20.4 mbar

$4.2/59.2 * 0.09 \text{ g/día} = 0.00657 \text{ g/día}$ ;  $0.0065 \text{ g/día} * 360 \text{ días/año} = \underline{2.4 \text{ g/año}} \sim 0.3\%$  de ganancia de contenido de humedad por año.

$20.4/59.2 * 0.24 \text{ g/día} = 0.083 \text{ g/día}$ ;  $0.083 \text{ g/día} * 360 \text{ días/año} = \underline{30 \text{ g/año}} \sim 3\%$  de ganancia de contenido de humedad por año.

Esto es solamente una estimación; sin embargo se observa que no es aconsejable el almacenamiento bajo condiciones del ambiente sin un envase externo hermético.

## ANEXO 4

### Cuándo y dónde abrir los envases para almacenamiento de semillas en los cuartos fríos

Entre trabajadores de semillas, es frecuente escuchar que los tambores o barriles sellados utilizados para el almacenamiento no se deben abrir con frecuencia, aparentemente porque la semilla absorberá humedad del ambiente, haciendo que el contenido de humedad de la semilla sobrepase los límites permisibles. Este es un ejemplo que ilustra este problema. Primero se establece en los siguientes supuestos:

- Un barril plástico de buen tamaño es de 150 l.
- La densidad de las semillas es de 1.1 kg/litro.
- La densidad de las semillas incluyendo el aire entre ellas es 0.7 kg/litro.
- Existe un buen intercambio de aire entre el medio y el aire en el barril cada vez que se abre el barril (esto es muy exagerado).
- El contenido de humedad inicial (CH) de la semilla en el barril es de 7%.

Cuántas veces se puede abrir el barril antes de que el contenido de humedad de la semilla suba de 7% a 10% :

- Si el aire ambiente está a 25°C y contiene 80% de humedad relativa (HR) (almacenaje bajo condiciones ambientales en el trópico), y
- si el aire circundante está a 4°C y 98% de humedad relativa (almacenaje en cuarto frío) ?

Para facilitar las ecuaciones, se supone que el barril permanece lleno hasta la mitad, por Ej. hay  $75 \text{ l} * 0.7 \text{ kg/l} = 52 \text{ kg}$  de semilla en el barril. Habrá entonces,  $150 \text{ l} - (52 \text{ kg}/1.1 \text{ kg/l}) = 103$  litros de aire en el barril.

#### 1.- Condiciones de 25°C y 80% HR

El promedio de CH en el periodo entre 7 y 10% CH es 8.5% CH. En las isotermas de sorción (Anexo 8) se encuentra que a 25°C y en absorción, la HR tendrá que ser por encima de 35% para subir el CH por encima de 8.5%.

En el diagrama IX (Anexo 8) se encuentra que el aire a 25°C, 80% de HR tiene 16 g de agua/kg y que el aire a 25°C, 35% de HR tiene 7 g de agua/kg.

Entonces la semilla absorberá  $16 - 7 = 9 \text{ g}$  de agua/kg de aire que entra al barril. Como la densidad del aire es de aproximadamente  $1.2 \text{ kg/m}^3$ , la semilla absorberá  $9 \text{ g} / 1.2 \text{ kg/m}^3 = 7.5 \text{ g/m}^3$  de aire. La semilla tendrá que absorber  $52 \text{ kg} * 3\% = 1.560 \text{ kg}$  de agua para subir el CH de 7 a 10%.

Si entra 7.5 g de agua al barril por cada m<sup>3</sup> de aire,  $1560 \text{ g} / 7.5 \text{ g/m}^3 = 208 \text{ m}^3$  de aire tendrá que pasar a través del barril para subir el CH a 10%. Si 103 l = 0.103 m<sup>3</sup> de aire entra al barril cada vez que se abre, tendrá que abrirse  $208 \text{ m}^3 / 0.103 \text{ m}^3/\text{cada vez} = \underline{2019 \text{ veces}}$ .

## 2.- Condiciones de 4°C y 98% de HR

La ecuación es similar aunque las cifras difieren un poco: El promedio de CH es el mismo 8.5%. Las isotermas de sorción: a 4°C, absorción, la HR tendrá que ser aproximadamente por encima de 20% para alcanzar el CH.

El diagrama IX: a 4°C, 9.8% de HR = 5 g de agua/kg de aire, 4°C, 20% de HR = 1 g/kg.  $5\text{g} - 1\text{g} = 4 \text{ g}$ .

$4 \text{ g/kg} / 1.2 \text{ kg/m}^3 = 3.3 \text{ g de agua/m}^3 \text{ de aire}$ .  $1560 \text{ g de agua} / 3.3 \text{ g de agua/m}^3 = 468 \text{ m}^3 \text{ de aire}$ .  $468 \text{ m}^3 / 0.103 \text{ m}^3/\text{cada vez} = \underline{4544 \text{ veces}}$ .

El barril originalmente contenía  $150 \text{ l} * 0.7 \text{ kg/l} = 105 \text{ kg}$  de semilla. Por Ej. si se toman  $105 \text{ kg} / 4544 = 23 \text{ g}$  de semilla cada vez que se abra el barril en el cuarto frío, se tendrá que abrir 4544 veces y el CH de las semillas subirá de 7 a 10% sin ningún problema.

Aquí no es donde radica el problema. El problema radica en: 1.- defectos en el cierre de los envases de semillas y 2.- abrir los envases inmediatamente después de haber sacado el barril del cuarto frío.

- Las fluctuaciones en temperatura (por pequeñas que sean) en el almacenaje de semilla, resultará en diferencias de presión entre el aire dentro de los envases y el medio circundante. Si el sello es defectuoso, el aire será absorbido hacia dentro y afuera cada vez que la temperatura cambia. Durante los años de almacenamiento, esto puede sumar cantidades considerables de aire que pasa a través del envase.
- Cuando se toman muestras de lotes de semilla del cuarto frío, estas deben ser tomadas dentro del cuarto frío (como en el ejemplo 2), o el envase se debe sacar del cuarto y dejarlo hasta que llegue a la temperatura ambiente antes de que se abra. Si el envase se abre inmediatamente, la humedad del aire exterior del cuarto se condensará rápidamente sobre la semilla fría, ya que su temperatura generalmente está por debajo del punto de rocío de aire circundante.

## ANEXO 5

### Ejemplo para calcular la capacidad de un cuarto frío.

El siguiente es un ejemplo sobre los cálculos y consideraciones previas a la construcción de un cuarto frío en un centro de semillas. Los envases y materiales no solamente son los disponibles en el mercado, sino también los que el DFSC recomienda en muchos de los casos.

#### Conversión de peso a volumen.

El consumo y la producción de semilla generalmente se expresan en kilogramos; pero cuando la semilla se debe almacenar, se tendrá que determinar cuanto espacio ocupa. Puesto que el peso por unidad de volumen y el tamaño promedio del lote de semilla varía de acuerdo con la especie, conviene iniciar el proceso elaborando una tabla como la que se presenta a continuación:

Máxima capacidad de almacenamiento deseada en un cuarto frío.

Grupo de especies	Capacidad requerida (kg)	Peso de un litro de semilla (kg)	Capacidad requerida (litros)	Tamaño promedio del lote (litros)
A	1200	0.6	2000	25 - 200
B	300	0.6	500	10 - 30
C	600	0.4	1500	5 - 20
Total	2100		4000	

#### Capacidad de almacenamiento por metro de estantería.

Se supone que toda la semilla se almacena en un cuarto frío y que por razones prácticas, todos los lotes grandes se almacenan en tambores plásticos de 60 l y el resto de la semilla se almacena en bolsas plásticas laminadas dentro de cajas plásticas con tapa. El siguiente paso es calcular la capacidad de almacenamiento por metro de pared con estantería.

Las dimensiones externas de un tambor de 60 litros con agarraderas son: 400 mm de diámetro por 620 mm de altura. Las dimensiones externas de una caja plástica de 20 litros son: 435 mm de profundidad x 330 mm de ancho x 220 mm de alto. Una caja con estantería en la parte inferior y algún espacio libre arriba tendrá una altura de 250 mm.

La altura de una pared interna será de 2200 mm. Teniendo en cuenta que el barril ocupa 700 mm desde el suelo, quedan 1500 mm para las cajas, o sea 6 divisiones.

Una unidad de estantería podría ser (Fig. 9):  
 (3 cajas x 330 mm) + patas de la estantería, por ejemplo de 50 mm = 1040 mm de ancho. Por debajo están dos barriles de tal forma que la capacidad de la unidad sería:  
 (2 barriles x 60 l) + (6 divisiones x 3 cajas x 20 l) = 480 l.

Como las semillas se acomodan sueltas en los tambores, no es normalmente aconsejable contar con más de la mitad de los tambores llenos, ya que el tamaño de los lotes no siempre se ajustan al tamaño del tambor y no se puede mezclar dos lotes en el mismo tambor. Entonces la otra mitad de los tambores estarán relativamente desocupados. En este caso se utilizará 3/4 de la capacidad de almacenamiento.

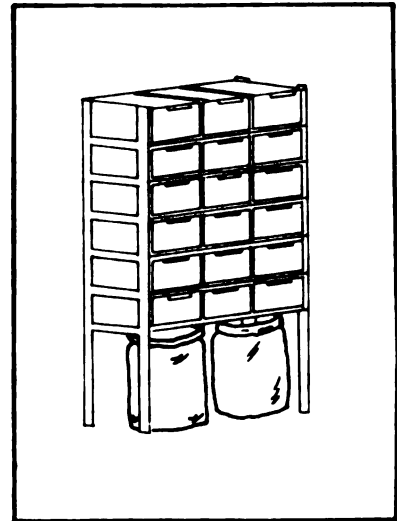


Figura 9. Unidad de estantería

Lo mismo ocurrirá cuando se almacene semilla en bolsas plásticas dentro de cajas: no habrá muchas cajas donde el espacio no se utilice, pero por otro lado, habrá gran cantidad de espacio no utilizado en medio de las bolsas plásticas. 3/4 de la capacidad de almacenamiento calculada de 480 l/unidad, muestra una capacidad efectiva de almacenamiento de 360 l/unidad (1040 mm de pared con estantería).

### Volumen de almacenaje.

Generalmente el modo más fácil y económico para construir un cuarto frío es utilizando paneles aislantes prefabricados y armar el cuarto dentro de un edificio existente.

Para un cuarto frío a 4°C, sería razonable usar paneles de un grosor de 100 mm, con una transmisión de calor (valor K) de 0.188 W/m<sup>2</sup>×K (= 0.162 Kcal/m<sup>2</sup>×h×°C de diferencia). Los paneles normalmente vienen de 1200 mm de ancho y una longitud de acuerdo a las necesidades.

Para minimizar la construcción y los costos de mantenimiento, un cuarto frío debe tener la superficie más pequeña posible. Para almacenar 4000 litros se necesitará 4000 l / 360 l por unidad de estantería = 11.11 de unidades dentro del cuarto frío.

Un esquema de un cuarto frío con una capacidad de 11 2/3 de unidades se ilustra en la Figura 10. Para construir este almacenaje se necesitarán 12 paneles de 2200×1200×100 mm (alto, ancho, grosor), 3 paneles de 3600×1200×100 mm para el cielo raso, una puerta, una válvula de ventilación para homogenizar presión y una planta de refrigeración. Si el cuarto no se ubica directamente sobre un piso de concreto aislado, entonces se deberá también colocar sobre paneles aislantes.

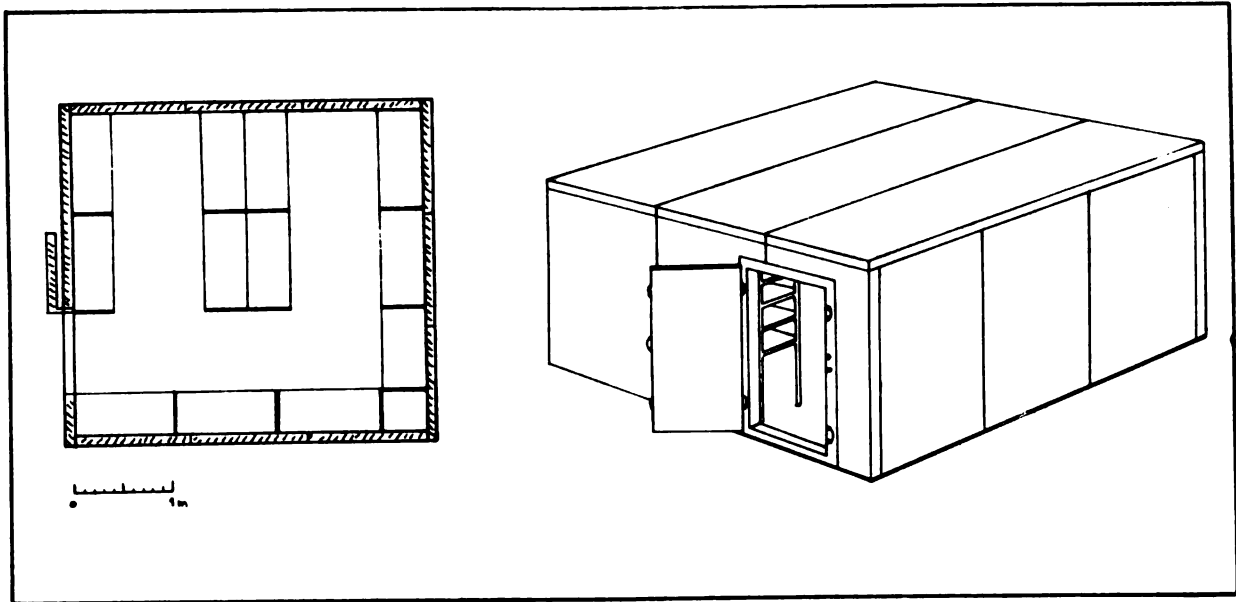


Figura 10. Plano de un cuarto frío.

## ANEXO 6

### Almacenamiento de semilla infestada por insectos

En algunas especies, los insectos pueden dañar las semillas durante el almacenamiento. Un ejemplo son los bruchidos, los cuales colocan sus huevos sobre las vainas de las semillas de testa dura como las acacias. La larva penetra la semilla antes de que ésta madure. Después de la maduración de la semilla, la larva continúa comiendo la semilla y eventualmente empupa dentro de la testa de la semilla antes de emerger como adulto.

Algunas especies de bruchidos colocan sus huevos sobre superficies secas de semilla madura. Estas especies presentan serios problemas durante el almacenaje de semilla ya que pueden continuar por generaciones durante el almacenamiento de un lote de semilla, llegando a dañar toda la semilla.

Cuando la semilla se importa o exporta, por razones fitosanitarias es necesario aplicar métodos que aseguren la eliminación de los insectos en el lote de semilla. Las normas de cuarentena establecen tratamiento por fumigación con insecticidas en forma de vapor. En el caso de las semillas de testa dura, esto no asegura la completa eliminación de los insectos, a no ser que la concentración y tiempo de exposición sean tan altos que la viabilidad de la semilla pueda peligrar.

Antes del almacenaje, la semilla es mezclada tradicionalmente con un insecticida en polvo que elimina los insectos emergentes. Esto no detendrá el desarrollo de los insectos dentro de la semilla, además de que los insecticidas presentan un riesgo para la salud de los operarios.

Las investigaciones recientes están encaminadas a desarrollar alternativas de métodos de control de insectos que aseguren la completa eliminación sin presentar ningún riesgo a la semilla ni al operario. Resultados preliminares indican que los siguientes métodos pueden ser utilizados en el almacenaje de semillas.

#### **Congelamiento**

Semilla con un contenido de humedad por debajo de 10% no se daña con temperaturas bajas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Todos los estados de desarrollo de insectos que viven en semillas de las especies investigadas, se mueren sometiéndolas por cuatro días a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Esto indica el control efectivo que se puede obtener colocando la semilla seca dentro de un congelador a  $-18^{\circ}\text{C}$  y dejándolas allí por cuatro días después de que la temperatura interna haya alcanzado  $-18^{\circ}\text{C}$ .

#### **Tratamiento con dióxido de carbono**

Todos los estados de desarrollo de las especies estudiadas de insectos dentro de la semilla, se pueden eliminar en forma efectiva, colocando la semilla dentro de una atmósfera que contenga 60-80% de  $\text{CO}_2$  a  $20-30^{\circ}\text{C}$  durante cuatro semanas. La longevidad de la semilla



almacenada con un contenido de humedad por debajo de 8% dentro de una atmósfera con 60-80% de  $\text{CO}_2$  no se reduce por algunos años.

Se ha desarrollado un sistema de empaque de semilla para almacenaje en bolsas plásticas laminadas tratadas o limpiadas con  $\text{CO}_2$ : bolsas plásticas corrientes hechas de polietileno de baja densidad (PBD) selladas con calor, tienen alta permeabilidad al  $\text{CO}_2$ . El nylon (poliamide, PA) no permite sellado con calor, pero tiene baja permeabilidad al  $\text{CO}_2$ . Bolsas plásticas laminadas por una capa, incorporando nylon en la parte exterior de la bolsa plástica corriente, combina la posibilidad de cierre con calor con baja permeabilidad. Para evitar fugas por desgaste la capa exterior debe ser de al menos de  $30\ \mu$  de grueso ( $0.025\ \text{mm} = 25\ \mu\text{m} = 25\ \text{micron} = 1\ \text{mil} = 1\ \text{thou} = 0.001\ \text{pulgada}$ ).

El  $\text{CO}_2$  está disponible en botellas o cilindros en muchos lugares del mundo. El cilindro debe estar equipado con una válvula de reducción con un manómetro para  $\text{CO}_2$  (una válvula normal de reducción para oxígeno puede ser usada), una manguera y una pistola sopladora para aire presurizado.

El  $\text{CO}_2$  es más pesado que el aire, de tal forma que cuando se deja salir en la parte baja de una bolsa plástica laminada con semilla, hará salir la mayoría del aire de la bolsa. Después de que la bolsa se cierra, la semilla absorberá el  $\text{CO}_2$  haciendo que la bolsa parezca como si estuviera empacada al vacío. Esto es una ventaja en el almacenaje, y especialmente durante el transporte, ya que la bolsa toma una forma sólida. El tamaño de bolsa más grande para empaque con  $\text{CO}_2$  es de alrededor de 5 litros.

Es de anotar que la semilla bajo tratamiento con  $\text{CO}_2$  debe dejarse por lo menos 4 semanas a una temperatura ambiente ( $20 - 30^\circ\text{C}$ ), antes de colocarla en el cuarto frío; el

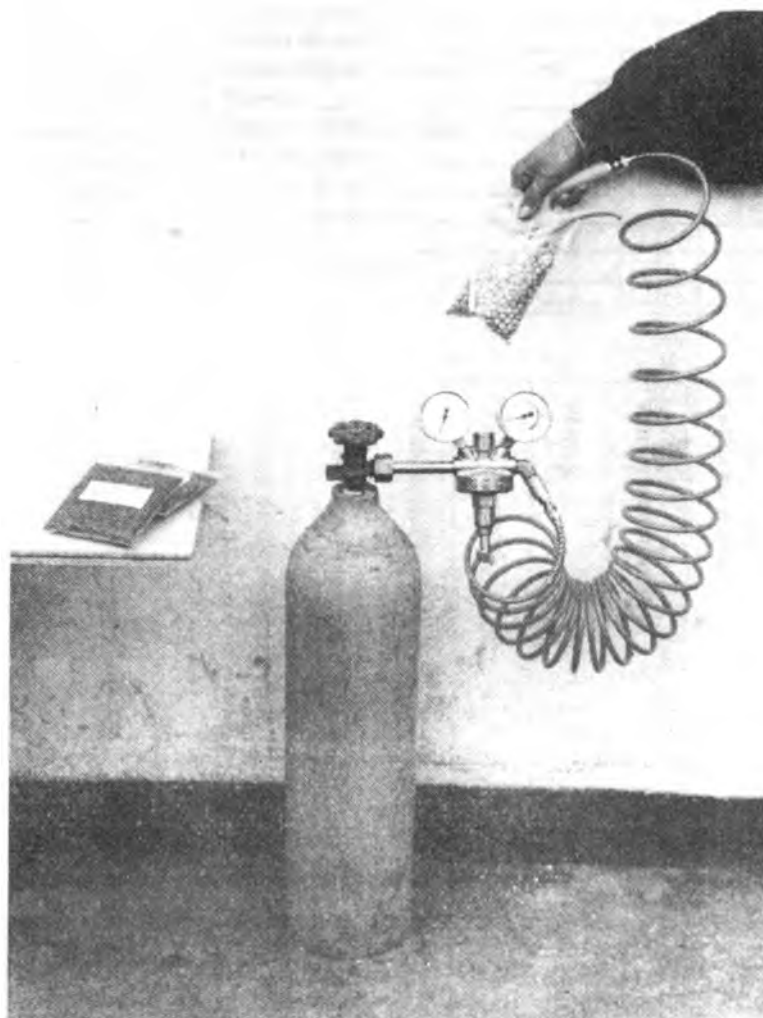


Figura 11. Limpieza de una bolsa plástica laminar con  $\text{CO}_2$  y semilla empacada con  $\text{CO}_2$ .

tratamiento no es efectivo contra insectos a bajas temperaturas.

### **Impactos**

Resultados preliminares indican que los impactos tales como los encontrados por las semillas de testa dura cuando son escarificadas con pistolas de semillas, también eliminan los insectos. Las semillas de testa dura escarificadas por impactos pueden probablemente mantenerse en almacenaje por algún tiempo si están secas y selladas a presión en un envase hermético. Esto abre la posibilidad de escarificar por impactos antes del almacenamiento, las semillas de testa dura infestadas por insectos. Los efectos de los impactos sobre las semillas y la posibilidad de almacenamiento de semillas escarificadas deben ser más investigadas.

Ejemplo de formulario de Registro de Semillas.

1644/86  
*Acacia nilotica ssp. nilotica*  
 Sudán  
 Wad.Nimir, Edduim, W.Nile  
 14°30'N      32°10'E  
 400m      200-400mm

Número de lote de semilla: \_\_\_\_\_  
 Especie: \_\_\_\_\_  
 Fuente: \_\_\_\_\_

FORMULARIO REGISTRO DE INVENTARIO  
 DE SEMILLAS No. \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_  
 Cosechado/proveedor: \_\_\_\_\_

Permiso de recolección: \_\_\_\_\_  
 Periodo de cosecha: \_\_\_\_\_

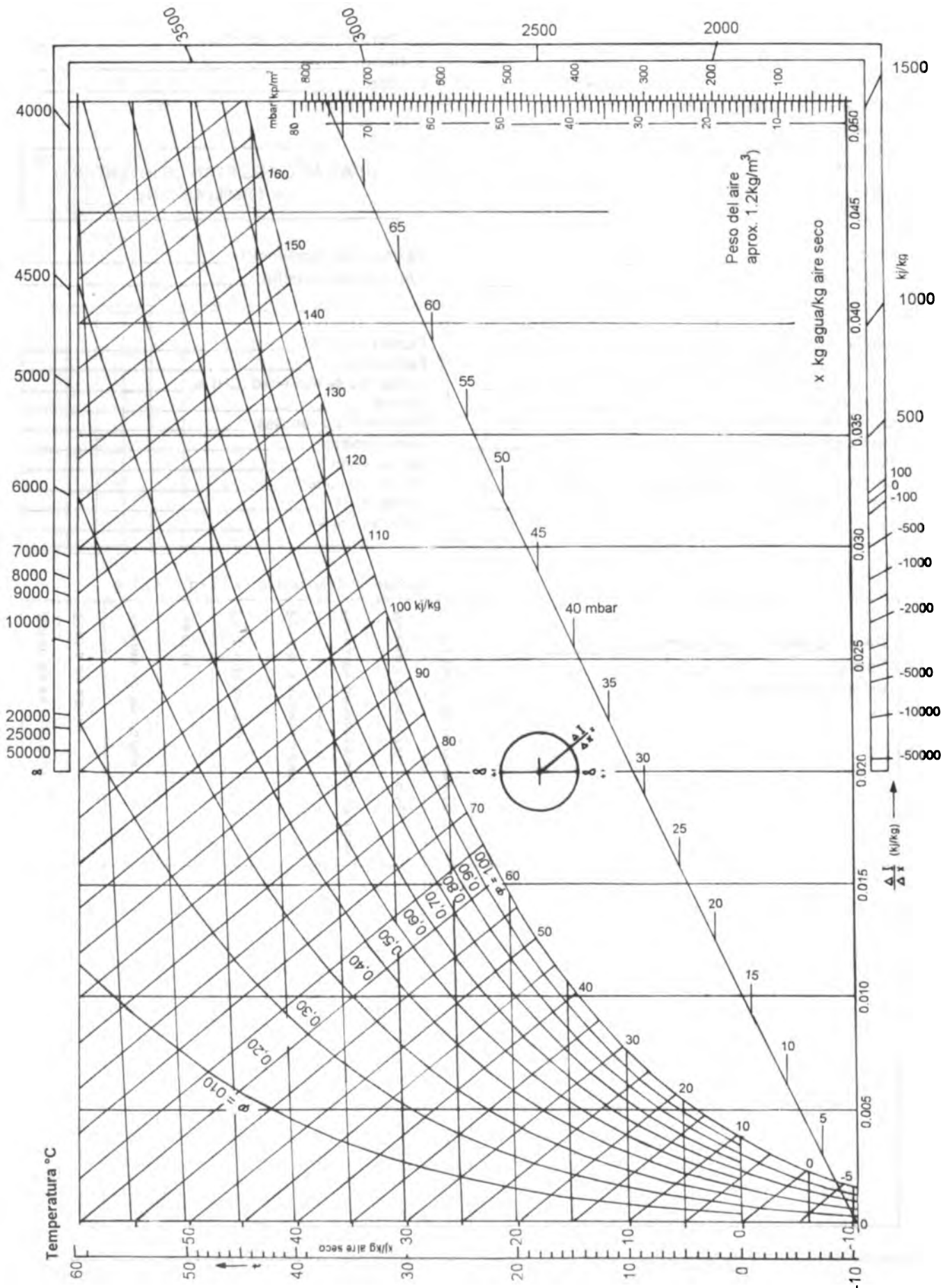
Fecha de recibo: \_\_\_\_\_  
 Peso de fruto verde (l/kg): \_\_\_\_\_  
 Fecha de limpieza: \_\_\_\_\_  
 Peso fresco puro: \_\_\_\_\_  
 Contenido de humedad: \_\_\_\_\_  
 Fecha del secado: \_\_\_\_\_  
 Peso semilla seca para almacenar: \_\_\_\_\_  
 Fecha de recibo para almacenaje: \_\_\_\_\_  
 Tratamientos: \_\_\_\_\_

Prueba serie No. \_\_\_\_\_  
 Fecha de inicio: \_\_\_\_\_  
 Contenido de humedad (CH) %: \_\_\_\_\_  
 Pureza: \_\_\_\_\_  
 Peso de 1000 semillas: \_\_\_\_\_  
 Pretratamiento: \_\_\_\_\_  
 Germinación %: \_\_\_\_\_  
 Prueba de corte %: \_\_\_\_\_  
 Tetrazolio %: \_\_\_\_\_  
 Semillas viables/g: \_\_\_\_\_

Unidad de peso usada:  kg,  g

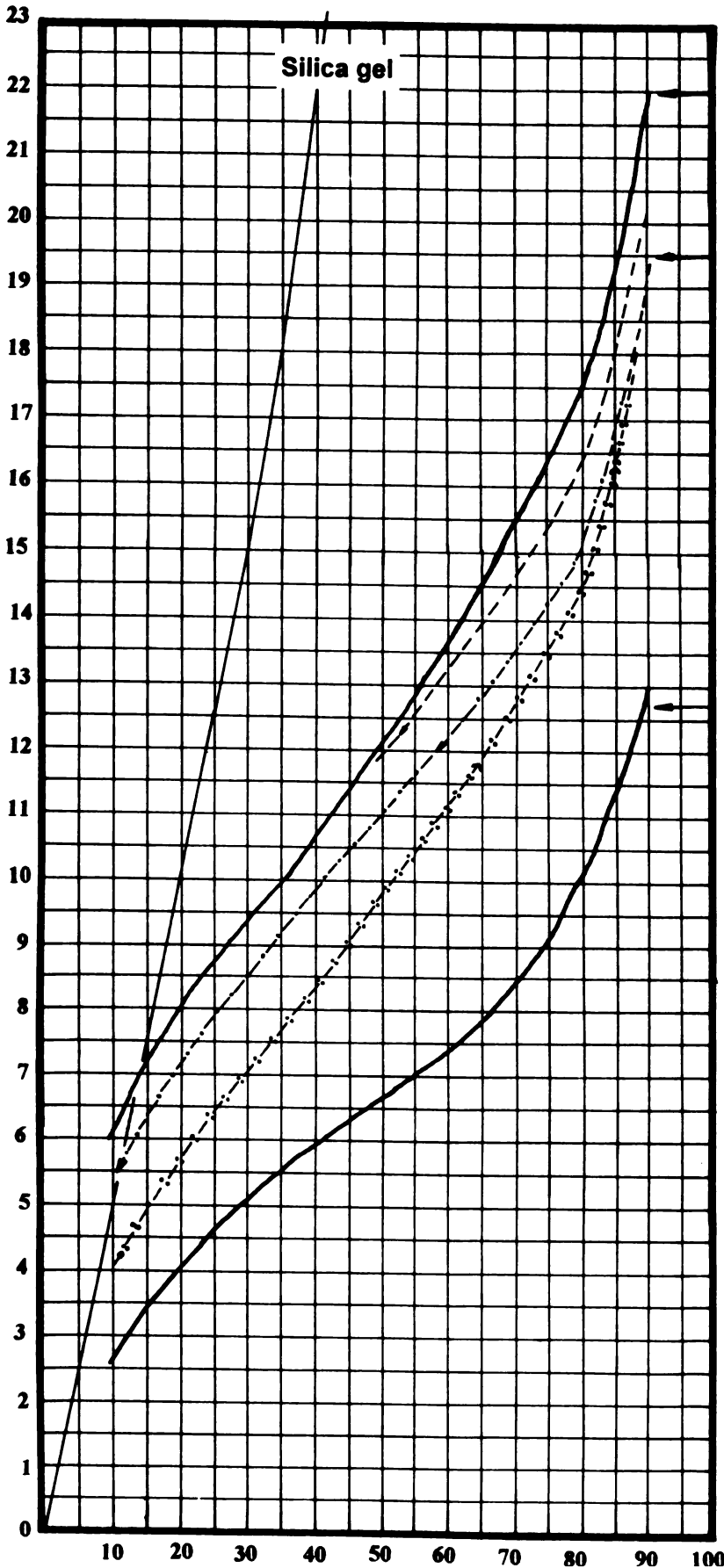
Persona que recibe la semilla: _____ Firma: _____ Lista de empaque no. _____	Fecha toma de la muestra	Muestra de laboratorio (g)	Fecha de pérdidas acumuladas	Pérdidas acumuladas	Fecha de ventas	Ventas	Ventas acumuladas	Fecha de saldo	Saldo de existencias

# ANEXO 8 Diagrama de Isotermas de Sorción



Contenido de humedad (%)

Isotermas de sorción



Semilla rica en carbohidrato y proteína, desorción y baja temperatura.

Trigo con 2% de contenido de aceite:

- desorción, 25°C
- - - desorción, 35°C
- ..... absorción, 35°C

Alto contenido de aceite, absorción, alta temperatura.

Las curvas de desorción generalmente están 1-2% más alto en contenido de humedad que en curvas de absorción.

Un incremento de 10°C en temperatura disminuirán las curvas en aproximadamente 1% de contenido de humedad.

Humedad Relativa (%).



## LISTA DE PROVEEDORES DE EQUIPOS PARA PROCESAMIENTO DE SEMILLAS FORESTALES

Bashlin Company  
PO Box 5 11  
119 W Pine Street  
Grove City. Penn 16127  
USA

Hance Corporation  
235 E. Broadway  
Westerville  
Ohio 43081  
USA  
Int. Phone: 1-6148827400  
Int. Fax: 1-6148827549

Seedburo Equipment Company  
1022 West Jackson Boulevard  
Chicago  
Illinois 60607-2990  
USA  
Int. Phone: 1-3127383700  
Int. Fax: 1-3127385329  
Telex: 270378 seedburo cgo  
Cable: SEEDBURO CHICAGO

Forestry suppliers inc.  
P.O. Box 8397 Jackson  
MS 39284-8397  
USA  
Int. Phone: 1-6013543565  
Int. Fax: 1-6013555126  
Telex: 585330 forsup inc  
Cable: JIM GEM, Jackson, Mississippi

Ben Meadows Company  
3589 Broad street  
P.O.Box 80549  
Atlanta (Chamblee)  
Georgia 30366  
USA  
Int. Phone: 1-404-455-0907  
Int. Fax: 1-404-457-1841  
Telex: 804468 atl

Michael Richmond  
5-15 Weyhill  
Haslemere  
Surrey GU27 IBY  
UNITED KINGDOM  
Int. Phone: 44-1428643328/1428644394  
Int. Fax: 44-1428656787

Bentall Simplex Industries  
Export division  
Industrial Estate  
Dunkirk, Aylsham  
Norfolk NR 11 6 SY  
UNITED KINGDOM  
Int. Phone: 44-263733811  
Int. Fax: 44-263734845  
Telex: 975149

Honey Brothers Ltd.  
New Pond Road  
Peasmarsh  
Guildford  
Surrey GU IJR  
UNITED KINGDOM  
Int. Phone: 44-48361362/48575098  
Int. Fax: 44-48335608

Rumed  
Ikarus alle' 2  
D 3000 Hannover 1  
GERMANY  
Int. Phone: 49-511632783

Waldemar Grube  
D 3045 Hutsel uber Soltau  
GERMANY  
Int. Phone: 49-51947377  
Telex: 924180 fgh d

Karl Kolb  
P.O. Box 102040  
D 6072 Dreielch  
GERMANY  
Int. Phone: 49-6103603-0  
Int. Fax: 49-6103603101  
Telex: 417981 kkolb d

Bie og Berntsen  
Sandbækve .7  
DK 2610 Roedovre  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42948822  
Int. Fax: 45-42911300  
Telex: 35288 bikem dk

Tripette and Renaud  
ZI du Val Seine  
20 Av. Marcelin Berthelot  
92390 Villeneuve, La Garenne  
FRANCE  
Int. Phone: 33-147986002  
Telex: 620292 tr-labo f

A.G. Frisenette og Soenner  
Godthåbsve 4  
P.O.Box 120  
DK 8400 Ebeltoft  
DENMARK  
Int. Phone: 45-86342244  
Int. Fax: 45-86345744

Kaleshe smeden  
Nordhavnsvej 1  
DK 3000 Helsingør  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42100011  
Int. Fax: 45-42101198

Genpack  
Lejrvej 27  
DK 3500 Værløse  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42486200  
Int. Fax: 45-42486261  
Telex: 16180

Struers  
Valhoejs alle 176  
DK 26 1 0 Roedovre  
DENMARK  
Int. Phone: 45-36708090  
Int. Fax: 45-36720085  
Telex: 19625 strur dk

Telektro  
Biblioteksvej 53 A  
DK 2650 Hvidovre  
DENMARK  
Int. Phone: 45-36773900  
Int. Fax- 45-36774768

ED Service Center  
Ostergade 38  
DK4000 Roskilde  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42361515  
Int. Fax: 45-42373906

CP Sugteknik  
Staeremosen 32  
DK 3200 Gilleleje  
DENMARK  
Int. Phone: 45-48300430

Slagteriernes Faellesindkoebsfo  
Avedoerholmen 96-98  
DK 2650 Hvidovre  
DENMARK  
Int. Phone: 45-36399393  
Int. Fax: 45-36779976  
Telex: 19448/15191 SFK DK

Nordisk Alkali Biokemi A/S  
att. J.Haupt  
Islands Brygge 91 (8 I)  
P.O.Box 1810  
DK 2300 Copenhagen S  
DENMARK  
Int. Phone: 45-31576100



Dansk Skovkontor  
 PO. BOX 1  
 DK 4700 Naestved  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-53800110  
 Int. Fax: 45-53800900

Spejdersport  
 Nr. Farimagsgade 39  
 DK 1364 Copenhagen K  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-33125522  
 Int. Fax: 45-42527710

DANIDA Forest Seed Centre  
 Krogerupvej 3A  
 DK 3050 Humlebaek  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-42190500  
 Int. Fax: 45-49160258  
 Telex: 16600 fotex dk att:forestseed H  
 Cable: FORESTSEED,HUMLEBAEK

Danish Plant Breeding Station  
 Krogerupvej 21  
 DK 3050 Humlebaek  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-42190214  
 Int. Fax: 45-49160016

Finn Stubsgaard  
 Skippershovedvej 10  
 DK 8585 Glesborg  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-86381359

CMC Automation  
 att: Erik Jespersen  
 Hyttenvej 6  
 DK 8586 Oerum  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-86317048  
 Int. Fax: 45-86381959

Sven Albertsen  
 Gl. Strandvej 58  
 DK 3050 Humlebaek  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-42190396

DC-system Insulation a/s  
 Nordvestvej 8  
 DK 9600 Aars  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-98624200  
 Telex: 60814 att DCINS-DK

SK Presenninger  
 Thorslundsvej 7  
 DK 5000 Odense C  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-66142766  
 Int. Fax: 45-66148956

DANDAEK A/S  
 Islevdalvej 150  
 DK 26 1 0 Roedovre  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-42944200  
 Int. Fax: 42-42847715  
 Telex: 35172

Axel Joergensen & Co.  
 Dag Hammarskjolds alle 1  
 DK 2 1 00 Copenhagen O  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-31421896

SCANI  
 Roedager alle 22-24  
 DK 2610 Roedovre  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-36709088  
 Int. Fax: 45-36700877

Westrup  
 Po.Box 127  
 DK 4200 Slagelse  
 DENMARK  
 Int. Phone: 45-53522564  
 Int. Fax: 45-53525251  
 Telex: 45379 wemas dk

DAMAS  
att: Peter Olsen  
Industrivej 2  
Vester Aaby  
DK 5600 Faaborg  
DENMARK  
Int. Phone: 45-62616700  
Int. Fax: 45-62616851  
Telex: 50515

Lytzen Lab  
Dynamovej 9  
DK 2730 Herlev  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42911200  
Int. Fax: 45-42912300

Harald Nyborg  
Hovedvej A1  
DK 5230 Odense M  
DENMARK  
Int. Phone: 45-66155415

Buch & Holm  
Marielundvej 36  
DK 2730 Herlev  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42917511  
Int. Fax: 45-42911300  
Telex: 35259

Rationel Kornservice  
Gl. Moellevej 4  
DK 6700 Esbjerg  
DENMARK  
Int. Phone: 45-75122588  
Int. Fax: 45-75129089  
Telex: 54351 rko dk

Brdr. Vestergaard  
Stamholmen 165  
DK 2650 Hvidovre  
DENMARK  
Int. Phone: 45-31786666  
Int. Fax: 45-31786363  
Telex: 15856 & 16365 vester dk

Holten Laminair  
Gydevang 17  
DK 3450 Alleroed  
DENMARK  
Int. Phone: 45-48142777  
Int. Fax: 45-42274655  
Telex: 40037 holten dk

Frederiksberg Vaegtfabrik  
Sankt Knudsvej 18  
DK 1903 Frederikberg C  
DENMARK  
Int. Phone: 45-31240210

S.E.Hovedgaard  
Vestergade 69  
P.O.Box 54  
DK 8732 Hovedgaard  
DENMARK  
Int. Phone: 45-75661211  
Int. Fax: 45-75662055  
Telex: 61603  
Cable: SECOOLS DK

Otto Secher  
Soendergade 6-8  
DK 8500 Grenaa  
DENMARK  
Int. Phone: 45-86320888  
Int. Fax: 45-86327781  
Telex:  
Cable:

Dräger Teknik a/s  
Generatorvej 6 B  
DK 2730 Herlev  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42845211  
Int. Fax: 45-44530252  
Telex: 35195 (dratek dk)

Vojens Tovvaerk  
Islevdalvej 161  
DK 46 1 0 Roedovre  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42912555  
Int. Fax: 45-44921910

Scan. tek. Optik  
Carlsbergvej 13  
DK 3660 Stenløse  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42172327  
Int. Fax: 45-42172344

Munters  
Farum Gydevej 89  
P.O. Box. 79  
DK 3520 Farum  
DENMARK  
Int. Phone: 45-42953355  
Int. Fax: 45-42953955

ELMLER  
Roerhaven 6  
DK-7100 Vejle  
DENMARK  
Int. Phone: 45-75837322  
Int. Fax: 45-75720133

Kimberly Seeds  
51 King Edward Road  
Osborne Park 6017  
Western Australia  
AUSTRALIA  
Int. Phone: 61-9-4464377  
Int. Fax: 61-9-4463444  
Telex: AA94371 KMSEED

CSIRO  
Division of Forest Research  
PO Box 4008  
Canberra ATC 2600  
AUSTRALIA  
Int. Phone: 61-6-2818211  
Int. Fax: 61-6-2818312  
Telex: AA62751

Alf Hannaford & Co. Ltd.  
P.O.Box 230  
Welland  
South Australia 5007  
AUSTRALIA  
Int. Phone: 61-8-3400388  
Int. Fax: 61-8-3400774




Foto portada: Semillas de *Gliricidia sepium* (madero negro) en proceso de secado en el Banco de Semillas Forestales del CATIE. (Foto L.F. Jara)

Adaptación y edición técnica:  
Supervisión editorial y producción:  
Traducción:  
Montaje y artes finales:  
Fotos interiores:  
Dibujos:

**Luis Fernando Jara N.**  
**Orlando Arboleda**  
**Doris Cordero y Orlando Arboleda**  
**Edith Garita**  
**Francisco Solano**  
**Sulay Fumero**

Impresión:  
Tiraje:

Unidad de Producción de Medios, CATIE.  
1000 ejemplares



**Danida Forest Seed Centre, DFSC**  
**Krogerupvej 3A, DK-3050 Humlebaek, Dinamarca**  
**Tel. + 4549190500 Fax + 45 19 16 02 58**  
**Email: [dfsedk@kpost4.tele.dk](mailto:dfsedk@kpost4.tele.dk)**

**Proyecto Semillas Forestales - PROSEFOR**  
**7170-137, CATIE, Turrialba, Costa Rica**  
**Tel. + (506) 556 1933 Fax + (506) 556 7766**