

SB
A119
.3
A3
C2

The logo for CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) features the letters 'CIAT' in a stylized, outlined font. A small figure of a person is integrated into the letter 'I'.

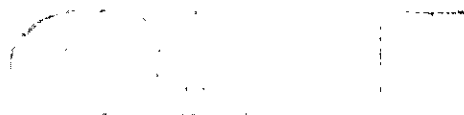
COLECCION HISTORICA

ISBN-84-89206-75-9

Agosto 1992

MANUAL PARA EL BENEFICIO DE SEMILLAS

(Segunda Edición)

A faint, large version of the CIAT logo is visible in the background of the lower section of the cover.

BIBLIOTECA

Roberto Aguirre
Silmar T. Peske

151.103

The CIAT logo is printed at the bottom of the cover, featuring the letters 'CIAT' in a stylized, outlined font with a small figure integrated into the letter 'I'.

Centro Internacional de Agricultura Tropical

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

ISBN 84-89206-75-9
Tirada 1500 ejemplares
Impreso en Colombia
Agosto 1992

Aguirre Roberto y Peske Silmar T. 1988. Manual para el beneficio de semillas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 248 p.

(Palabras claves)

Semillas; procesamiento; control de calidad; maquinaria; equipo; secamiento; almacenamiento; empaque; industria de semillas; seguridad; costos.

Contenido

	Página
PROLOGO	xv
INTRODUCCION	xvii
AGRADECIMIENTOS	xix
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	xxi
FACTORES DE CONVERSION	xxv
I. CONTROL INTERNO DE CALIDAD	1
II. RECEPCION DEL LOTE	5
Muestreo	5
En bolsas	6
A granel	7
Caracterización de la Semilla	8
Contenido de humedad	9
Análisis de pureza	10
Descuentos por humedad e impurezas	12
Pruebas rápidas de viabilidad	16
Otros análisis	17
Otros aspectos	18
III. OPERACIONES ESPECIALES	19
Desariste	19
Desgrane	20
Prelimpieza	20
Rompimiento de la Latencia	21

	Página
IV. SECAMIENTO	25
Secamiento Natural	26
Secamiento Artificial	27
Secamiento estacionario	27
Humedad relativa del aire	27
Temperatura	28
Flujo de aire	29
Capacidad de secamiento	35
Frente de secamiento	36
Daño mecánico	38
Mezcla varietal	39
Supervisión del equipo	40
Secamiento continuo	41
Temperatura	41
Descarga	42
Determinación de la humedad	42
Limpieza del secador	42
Secamiento intermitente	42
Temperatura	43
Control de la temperatura	44
Homogeneización	45
Daños mecánicos	45
Capacidad de secamiento	45
Manipuleo de las semillas	46
Control de humedad	47
Limpieza	47
Fuente de Energía	48
Consumo de combustible	48
Secador estacionario de	
piso falso	48
Secador intermitente	50
Quemadores	52
Control de Calidad	53

	Página
V. ACONDICIONAMIENTO	57
Máquina de Aire y Zarandas (MAZ)	57
Zarandas	57
Perforaciones redondas	57
Perforaciones oblongas	58
Perforaciones triangulares	59
Mallas de alambre	59
Selección de la zaranda	61
Zarandas manuales	62
Calibrador	62
Técnicas especiales	63
Ejemplos de separación	65
Soya partida por la mitad	65
Arroz descascarado	65
Arroz rojo	66
Maíz partido	67
Clasificación del maíz	67
Sorgo partido	67
Limpieza de las zarandas	68
Ajustes y operaciones	68
Eficiencia	69
Algunas recomendaciones específicas	71
Instalación	72
Mesa de Gravedad o Separador por Peso Específico	73
Ajustes	73
Eficiencia	74
Cilindro Separador o Cilindro Indentado	76
Operación	77
Eficiencia	78

	Página
Separador de Disco	78
Operación	79
Eficiencia	79
Separador de Espiral	79
Separador por Anchura y Espesor o	80
Separador de Zaranda Cilíndrica	
Operación	80
Eficiencia	81
Tratadoras	82
Operación	83
Eficiencia	85
Protección	86
Otras indicaciones	86
Selección	86
Transportadores	87
Elevadores de cangilones	87
Condiciones de operación	87
Mezcla varietal	91
Altura del elevador	92
Mantenimiento	94
Selección de los elevadores	94
Tomillo sin-fin o helicoidal	95
Daños mecánicos	95
Limpieza	95
Transportador vibratorio	96
Transportador de banda	96
Transportador de arrastre o de	97
cadena	
Transporte por gravedad	97
Control Interno de Calidad	98

	Página
VI. ALMACENAMIENTO	101
Reglas del Almacenamiento	101
Aireación	102
Empaque	104
Tipo de empaque	104
Mercadeo	104
Manejo	105
Arrumes	105
Disposición en el almacén	106
Número de lotes	106
Espaciamiento	106
Altura	107
Otras recomendaciones	107
Capacidad del Almacén para el Almacenamiento de Semillas en Sacos	108
Insectos	109
Roedores	111
Cuarto Frío y Seco	112
Control de Calidad	114
Humedad	114
Germinación	115
Despacho	115
VII. EQUIPOS Y REPUESTOS	117
Compra	117
Catálogos	118
Especificaciones	118
Recepción del pedido	118
Asistencia técnica	119
Mantenimiento	119

	Página
VIII. SEGURIDAD INDUSTRIAL	123
Equipo de Protección Personal	123
Pesticidas	124
Protección de las Máquinas	125
Electricidad	125
Áreas de Trabajo	125
Incendios y Explosiones	126
Generalidades	127
IX. LIMPIEZA DE LA PLANTA	129
X. COSTOS DEL BENEFICIO DE SEMILLAS	133
Aspectos Varios	133
Costos	134
XI ANEXOS	141
1 Equipos mínimos requeridos para el control interno de calidad.	143
2 Un método simple y preciso para determinar el contenido de humedad de las semillas.	145
3 Prueba del pH del exudado colorimétrico.	149
4 Prueba de tetrazolio.	151
5 Prueba de germinación fisiológica.	153
6 Prueba del verde rápido.	157
7 Prueba de inmersión en clórox o agua.	161

	Página
8 Prueba del cloruro férrico	163.
9 Prueba del hidróxido de potasio para arroz rojo.	165
10 Construcción de un sicrómetro de voleo.	167
11 Cálculo del flujo de aire en un secador esta-cionario.	169
12 Utilización del manómetro de tubo en "U".	175

XII. TABLAS

1 Tamaño máximo del lote y tamaño mínimo de la muestra de envío (ISTA No. 13, Vol 2, 1985) para realizar el análisis de pureza y la determinación de la presencia de otras especies en el lote de semillas.	180
2 Factores de descuento de peso para secamiento hasta un 13% de humedad (base húmeda) de acuerdo con el contenido inicial de humedad de un lote de semillas.	182
3 Preparación de las semillas para la prueba de tetrazolio.	184
4 Contenido de humedad en equilibrio (%) para semillas de varios cultivos. Datos obtenidos con la ecuación de Roa.	186

	Página
5 Contenido de humedad en equilibrio de semillas de hortalizas a 25°C y diferentes humedades relativas. (Laboratorio de Tecnología de Semillas, Universidad del Estado de Mississippi.)	191
6 Contenido de humedad en equilibrio de varias especies de semillas a 25°C y diferentes humedades relativas. (Laboratorio de Tecnología de Semillas, Universidad del Estado de Mississippi.)	192
7 Desempeño de ventiladores centrífugos de aletas rectas.	193
8 Desempeño de ventiladores vano-axiales.	194
9 Características del ventilador necesario para secar semillas de arroz en silos de fondo falso en capas de diferentes espesores.	195
10 Peso volumétrico, gravedad específica y po-rosidad de algunas especies de semillas.	196
11 Relación entre el contenido de humedad y el peso volumétrico de algunas semillas.	197

	Página
12 Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 10 y 30°C) de bulbo seco y bulbo húmedo en condiciones a nivel del mar.	198
13 Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 30 y 50°C) de bulbo seco y bulbo húmedo en condiciones a nivel del mar.	199
14 Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 50 y 70°C) de bulbo seco y bulbo húmedo en condiciones a nivel del mar.	200
15 Cuadro de conversión de temperaturas de grados Celsius a grados Fahrenheit, y vice versa.	201
16 Contenido energético de algunos combustibles.	204
17 Conversión de fracciones de pulgada a milímetros.	205
18 Dimensiones de las perforaciones de las zarandas de alambre en pulgadas y sus equivalentes en milímetros.	206

	Página
19 Número del calibre de alambres y láminas metálicas y su respectivo diámetro o espesor.	208
20 Zarandas comunmente utilizadas en el acondicionamiento de semillas de diversos cultivos.	209
21 Separaciones más comunes realizadas con el cilindro indentado.	216
22 Separaciones más comunes realizadas con discos alveolados.	217
23 Velocidad calculada de la banda del elevador de cangilones para diferentes diámetros de la polea motriz.	219
24 Area requerida (m^2/t) para el almacenamiento de semilla en bolsas según diferentes alturas y diferentes pesos volumétricos.	220
25 Conductividad térmica de varios materiales.	221
26 Angulo en grados de la arista formada por dos planos inclinados.	222

	Página
XIII. FIGURAS	
1 Determinador de humedad.	225
2 Tabla para analizar la pérdida de peso de la semilla después del secamiento.	226
3 Formulario para reporte de beneficio.	227
4 Curvas de contenido de humedad en equilibrio calculadas con la ecuación de Roa.	229
5 Sistemas de secamiento natural.	230
6 Secador estacionario de fondo falso.	231
7 Sistema de secado en túnel.	232
8 Fórmulas geométricas.	233
9 Diagrama de Shedd. Resistencia de las semillas al paso del aire.	234
10 Construcción de un manómetro en "U".	235
11 Carta sicrométrica.	236
12 Sicrómetro de voleo.	237
13 Secador intermitente rápido.	238

	Página
14 Funcionamiento de las zarandas desbrozadora y clasificadora.	239
15 Zaranda ondulada.	240
16 Distribución del material en la plataforma de la mesa de gravedad.	241
17 Tratadora manual.	242
18 Detalles importantes para el diseño de un elevador de cangilones para semillas.	243
19 Tipos de amortiguadores.	244
20 Migración de humedad en un silo de almacenamiento.	245
21 Conformación de arrumes dentro de una bodega de almacenamiento.	246
22 Diagrama de un cuarto frío y seco para el almacenamiento de semillas.	247

Prólogo

La Unidad de Semillas del CIAT fue creada en enero de 1979 para ayudar al desarrollo de los programas de semillas y a la industria de semillas en América Latina y el Caribe. Desde su inicio, el secamiento, acondicionamiento, y almacenamiento de semillas han sido aspectos importantes de los programas de capacitación en los cuales ha estado involucrado el personal de la Unidad.

Se han llevado a cabo en el CIAT tres cursos especializados a nivel avanzado sobre este tema y se ha brindado asistencia a otros cursos efectuados fuera del CIAT. Durante este período, se ha sentido la carencia de material de referencia adecuado para los tecnólogos que operan y administran el proceso de beneficio de la semilla. En consecuencia, el personal de la Unidad de Semillas ofrece este MANUAL PARA EL BENEFICIO DE SEMILLAS con la esperanza de que ayude a llenar este vacío.

Se ha reconocido que muchos factores afectan la calidad de la semilla desde el momento en que es sembrada en los campos de producción hasta que el agricultor la utiliza en la producción de granos. El secamiento, acondicionamiento, y almacenamiento son pasos críticos en el proceso de abastecimiento de semilla al agricultor. En este contexto, se espera que esta publicación sirva para que llegue un mayor volumen de semilla de buena calidad a un número cada vez mayor de agricultores.

El MANUAL PARA EL BENEFICIO DE SEMILLAS no habría sido posible sin el continuo apoyo financiero,

desde la creación de la Unidad de Semillas, de la Co-operación Suiza para el Desarrollo (SDC) y la colaboración desinteresada prestada por todas las personas que en una u otra forma contribuyeron con este trabajo. La Unidad de Semillas también tiene una deuda de gratitud con la Universidad Federal de Pelotas, en Brasil, por compartir el tiempo de uno de sus profesores, el Dr. Silmar T. Peske, quien contribuyó inmensamente a esta labor durante sus dos años como Investigador Invitado en el CIAT.

La semilla de variedades de alto rendimiento permite aumentar la producción agrícola y proporcionar alimento a muchos pueblos hambrientos del mundo. Esperamos que los usuarios de este manual, al ofrecer semilla de buena calidad acondicionada en sus unidades de beneficio, contribuyan significativamente a aumentar las tan necesitadas provisiones de semilla de variedades mejoradas

JOHNSON E. DOUGLAS
Jefe, Unidad de Semillas
1979-1987

Introducción

Las operaciones de beneficio de semillas (secamiento, acondicionamiento, y almacenamiento) son tareas requeridas para obtener lotes de semillas de alta calidad, con un mínimo de pérdidas, y en cantidades adecuadas para suplir las necesidades de los agricultores. La realización armoniosa y eficiente de estas operaciones demanda conocimientos teóricos y prácticos básicos; este Manual presenta una recopilación de los conocimientos de varios expertos en las diferentes etapas del beneficio de semillas, con el fin de facilitar el trabajo de las personas que día a día operan una Unidad de Beneficio de Semillas (UBS).

Este trabajo no es una descripción de los equipos utilizados en la UBS ni de sus principios de funcionamiento o manera de operarlos, pues supone que los operadores ya tienen este conocimiento o pueden encontrar las instrucciones en catálogos u otra literatura de fácil acceso.

El Manual presenta los detalles técnicos y los procedimientos de las operaciones de beneficio, así como las precauciones y la conducta que debe seguir el operador de la UBS para realizar un adecuado control de calidad. Al final se han incluido tablas, figuras, y anexos con información útil y de continua utilización en una UBS.

Agradecimientos

Son muchas las personas que han contribuido en la elaboración de este Manual; a todos ellos expresamos nuestro agradecimiento y en especial a los Drs. Johnson E. Douglas, Edgar Cabrera, Joseph Cortés, y Francisco Basilio y a los Ings. José Fernández de Soto, Carlos Oliveros, Napoleón Viveros, y Gilberto Zimmer.

ROBERTO AGUIRRE
SILMAR T. PESKE

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ASAC	Analizador Automático de Semillas Computarizado (Automatic Seed Analyzer Computer)
bhp	potencia al freno (break horsepower)
BTU	unidad de calor en el sistema inglés (British Thermal Unit)
bu	bushel
cc	centímetro cúbico
cfm	pie cúbico/minuto (cubic feet/minute)
cm	centímetro
g	gramo
gal	galón
h	hora
ha	hectárea
hp	caballo de fuerza (horsepower)
HR	humedad relativa
ISTA	Asociación Internacional de Análisis de Semillas (International Seed Testing Association)
J	Julio
kcal	kilocaloría
kg	kilogramo

kJ	kilojulio
kPa	kilopascal
kW	kilovatios
kWh	kilovatio/hora
LAS	Laboratorio de Análisis de Semillas
lb	libra
lb/plg²	libra/pulgada cuadrada (psi)
m	metro
MAZ	máquina de aire y zarandas
min	minuto
ml	mililitro
mm	milímetro
MPL	máquina prelimpiadora
N	newton
Pa	pascal
plg	pulgada
psi	libra/pulgada cuadrada
rpm	revoluciones/minuto
seg	segundo
SIL	secador intermitente lento
SIR	secador intermitente rápido

t	tonelada métrica
temp	temperatura
UBS	Unidad de Beneficio de Semillas
vol	volumen
W	vatio

Factores de Conversión

1 acre	=	4,046.87 m ²
	=	0.4047 ha
1 atmósfera	=	101325 Pa
	=	414.696 lb/pulg ²
	=	1.013 bar
	=	760 mm Hg
	=	10.33 m H ₂ O
1 bar	=	100 KPa
	=	750 mm Hg
	=	401.47 pulg H ₂ O
1 BTU	=	1055.1 J
	=	252 cal
1 BTU/gal	=	0.279 kJ/litro
1 BTU/lb	=	2.326 kJ/kg
1 BTU/lb/°F	=	4.1868 kJ/kg/°C
1 BTU/h	=	0.2931 W
1 BTU/h/pie	=	0.9620 W/m
1 BTU/h/pie ²	=	3.1525 W/m ²
1 BTU/h/pie ² /°F	=	1.7310 W/m ² /°C
1 BTU/h/pie ² /°F	=	5.6783 W/m ² /°C
1 bushel	=	0.03524 m ³
	=	35.24 litros
	=	1.244 pie ³
1 bushel/acre	=	0.0871 m ³ /ha
1 bushel/h	=	0.035 m ³ /h
1 caloría	=	4.187 J
1 cfm	=	1 pie ³ /min
	=	0.02832 m ³ /min
	=	1.70 m ³ /h
1 cfm/bu	=	0.804 m ³ /min/m ³
1 cfm/pie ²	=	0.3048 m ³ /min/m ²
1 gal(US)	=	0.00378 m ³
	=	3.78 litros
1 ha	=	10,000 m ²

1 hp	=	0.7457 kW
	=	2544.2 BTU/h
1 kW	=	1 kJ/seg
	=	1.34 hp
	=	3412 BTU/h
1 kWh	=	3600 kJ
1 lb	=	0.4536 kg
1 lb/bu	=	12.872 kg/m ³
1 lb/gal(US)	=	119.8 kg/m ³
1 lb/min	=	0.00756 kg/seg
1 lb/pie ²	=	47.88 Pa
1 lb/plg ²	=	1 psi
	=	6894.73 Pa
	=	703.08 mm H ₂ O
1 lb/pie ³	=	16.0185 kg/m ³
1 milla	=	1609.34 m
1 mm Hg	=	133.32 Pa
1 mm H ₂ O	=	9.8064 Pa
1 m ³	=	1000 litros
1 Pa	=	1 N/m ²
	=	0.1020 mm H ₂ O
1 pie	=	0.3048 m
1 pie ²	=	0.0929 m ²
1 pie ³	=	0.02832 m ³
	=	7.481 gal
	=	28.32 litros
1 pie/min	=	0.0051 m/seg
1 pinta	=	0.473 litros
1 plg	=	0.0254 m
1 plg ²	=	6.452 cm ²
1 plg ³	=	16.387 cm ³
1 plg Hg	=	3376 Pa
1 plg H ₂ O	=	248.8 Pa
1 cuarto (seco)	=	1.1012 litros
1 t	=	1000 kg
	=	2204.6 lb
1 yarda	=	0.9144 m

1 yd ³	=	0.7645 m ³
°F	=	32 + 1.8 °C
°K	=	273.16 + °C
°R	=	459.69 + °F
°C	=	(°F-32)/1.8

I. Control Interno de Calidad

El control interno de calidad es un requisito esencial en una empresa de semillas. En la comercialización, la calidad es un factor de competencia de tal importancia que incluso debe figurar en el contrato de compra-venta de la semilla. Las razones son evidentes, pues ningún agricultor perdonará ni confiará en el productor que le venda una semilla de baja calidad que luego implique daños morales y pérdidas materiales a la empresa. El control de calidad también es importante para verificar la eficiencia y eficacia de la operación de los equipos, para evitar pérdidas innecesarias y mal funcionamiento o para detectar si la semilla presenta algún problema.

Un programa de control de calidad debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Concientización del personal de la Unidad de Beneficio de Semillas (UBS) a todos los niveles de la importancia del control de calidad.
- b. Intercambio de información y análisis de los éxitos y de los fracasos entre los diversos niveles de jerarquía.
- c. Preocupación del personal por la calidad.
- d. Agilidad para tomar decisiones rápidas por parte del personal encargado de la UBS.
- e. Capacitación del personal con el fin de mejorar su desempeño.

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

- La semilla no miente; sólo puede mostrar la calidad que tiene.
- La semilla es un organismo vivo y se debe tratar como tal.

Un adecuado control de calidad resultará en buenas semillas, lo cual produce otros beneficios, como por ejemplo:

- a. La semilla gozará de confianza entre los consumidores.
- b. El mantenimiento de la calidad hará que los agricultores soliciten cada vez más la semilla de la empresa.
- c. Los clientes satisfechos darán buenas referencias a los compradores eventuales que les consulten.
- d. La empresa no correrá el riesgo de que el comprador devuelva o rechace la semilla.

- e. La eficiencia del personal y el equipo de la UBS será mayor, lo cual contribuye a reducir los costos de beneficio.
- f. Y lo que es más importante, las semillas de buena calidad producen mejores cosechas.

II. Recepción del Lote

En la recepción del lote de semillas se cumplen tres objetivos principales:

- a. Caracterizar el lote de semilla que se va a recibir para tomar las decisiones necesarias sobre las operaciones de beneficio requeridas por la semilla y llevar los registros adecuados.
- b. Evitar la entrada a la Unidad de Beneficio de Semillas (UBS) de materiales de mala calidad.
- c. Tomar una muestra "testigo" del lote tal como llegó a la UBS.

Muestreo

Este procedimiento permite obtener una muestra representativa del lote de semillas, con el fin de determinar características tales como el contenido de humedad, la pureza, y la viabilidad. En el Anexo 1 se presenta una lista de los equipos mínimos requeridos para el programa de control interno de calidad en la UBS. Con base en estos resultados se decidirá el tipo de beneficio que requiere el lote de semillas; en esto radica la importancia de hacer un buen muestreo. En la Tabla 1 se presenta información de diversos cultivos, con referencia al tamaño máximo de un lote de semillas y la cantidad de semilla requerida para cada muestra, de acuerdo con las normas de la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA).

Para tener una idea de la importancia de hacer un buen muestreo, considere el caso de la semilla de arroz, para la cual:

- 1 g contiene 25 semillas
- 1 kg contiene 25,000 semillas
- 1 t contiene 25 millones de semillas
- 10 t contienen 250 millones de semillas
(generalmente éste es el tamaño de un lote).

En la prueba de viabilidad se utilizan entre 200 ó 400 semillas para representar los 250 millones de semillas presentes en el lote. Es decir, una semilla puede representar un millón de ellas; por lo tanto, el muestreo tiene que ser bien efectuado. La metodología empleada depende de si la semilla se maneja en bolsas o a granel.

En bolsas

Normalmente una bolsa contiene 50 kg de semillas; en el caso del arroz esto significa más de 1 millón de semillas. Durante el transporte las semillas pequeñas y de mayor peso específico tienden a ubicarse en la parte inferior de la bolsa, mientras que las grandes y las de menor peso específico tienden a quedarse arriba; por este motivo es necesario que los caladores utilizados para el muestreo sean lo suficientemente largos para poder recolectar las semillas de diversos puntos de la bolsa. Un buen calador debe tener paredes lisas y una longitud mínima de 60 cm.

El calador se debe introducir diagonalmente a lo largo de la bolsa de tal forma que se puedan recolectar semillas a todo lo largo del saco. En el momento del

muestreo, el calador se introduce en la bolsa con las aberturas cerradas o hacia abajo (dependiendo del tipo de calador) para evitar sacar más semillas de un punto que de otro.

Un lote de semillas está constituido normalmente por varias bolsas. Lo ideal sería sacar una muestra de cada una; sin embargo, ésta es una operación muy difícil y demanda mucho trabajo. Por tal motivo sólo se muestrea un número determinado de bolsas, de acuerdo con el cuadro que se presenta a continuación.

Una regla práctica para determinar la intensidad del muestreo es tomar una muestra de cada uno de los sacos, cuando no son más de 6 y tomar una muestra de 5 sacos más el 10% del número de sacos en el lote, hasta un máximo de 50 muestras.

**Intensidad de muestreo para semillas ensacadas.
Normas de la ISTA (1985).**

Cantidad de bolsas	No. de muestras
Hasta 5	5
De 6 a 30	1 por cada 3, mínimo 5
De 31 a 400	1 por cada 5, mínimo 10
Más de 400	1 por cada 7, mínimo 80

A granel

El problema de estratificación de las semillas, debido a que las pequeñas tienden a deslizarse hacia abajo y las livianas a quedarse arriba, es más pronunciado en

las semillas manipuladas a granel. Por esta razón, los cuidados deben ser mayores para que el calador saque semillas a lo largo de toda la capa de semillas. Hay caladores especiales llamados estancos, que se usan para sacar y mantener separadas las semillas colectadas a diferentes niveles dentro de la capa. El siguiente cuadro presenta la intensidad de muestreo requerida.

En lotes de semillas que no fluyen fácilmente, tales como el algodón y muchas gramíneas forrajeras, el muestreo con caladores se torna muy difícil o impráctico siendo necesario realizar muestreo manual. Este no debe ocasionar problemas siempre y cuando se siga la misma metodología utilizada con los caladores para semillas ensacadas.

**Intensidad de muestreo para semillas a granel.
Normas de la ISTA (1985).**

Tamaño del lote (kg)	No. de muestras
Hasta 500	5
De 501 a 3,000	1 por cada 300 kg, mínimo 5
De 3001 a 20,000	1 por cada 500 kg, mínimo 10
Más de 20,000	1 por cada 700 kg, mínimo 40

Caracterización de la Semilla

Son varias las características de la semilla que se registran al momento de su recepción en la UBS.

Contenido de humedad

Se determina el contenido de humedad de las semillas principalmente por dos motivos:

- a. Para saber si es necesario secarla.
- b. Para poder calcular los descuentos o bonificaciones por alta o baja humedad al momento de calcular la cantidad de semilla recibida.

Para decidir el grado de secamiento necesario, se requiere determinar la humedad de diversas muestras primarias, preferiblemente de más de cinco. Es recomendable tomar varias muestras porque la humedad de la muestra compuesta indica un promedio de humedad que puede no ser representativo de algunas bolsas o puntos con humedad alta. Este equívoco puede ocasionar problemas a todo el lote de semillas durante su almacenamiento.

Los equipos utilizados para determinar el contenido de humedad normalmente son aceptables, siempre y cuando se sigan las instrucciones que vienen en el manual que acompaña a cada uno. Sin embargo, es necesario calibrar periódicamente los determinadores de humedad (2 ó 3 veces al año), utilizando como patrón los resultados del horno y haciendo mediciones comparativas en lotes de semillas que tengan rangos de humedad amplios (de 9 a 22%). El Anexo 2 presenta un método simple y preciso para determinar el contenido de humedad de las semillas y en la Figura 1 aparece un diagrama del determinador.

Análisis de pureza

La determinación de la pureza física de un lote de semillas antes de entrar a la UBS tiene los siguientes objetivos:

- a. Establecer la presencia de malezas nocivas o permitidas para decidir, de acuerdo con el grado de contaminación, si se recibe o no el lote.
- b. Determinar la pérdida debida a la remoción de los materiales contaminantes.
- c. Definir los equipos que se utilizarán para el beneficio adecuado del lote de semillas.

La pureza del lote se puede determinar rápida y eficientemente sin necesidad de utilizar técnicas o equipos especializados. Por ejemplo, para el caso de semilla de arroz, se necesita una muestra de 40 g para determinar la cantidad y el tipo de los materiales indeseables y una muestra de 400 g para determinar la presencia de arroz rojo. La Tabla 1 presenta el tamaño de muestra requerida de acuerdo con la especie y el tamaño del lote. Para la determinación de la presencia de arroz rojo se necesita una descascadora; ésta es prácticamente la única prueba que requiere un equipo especial, pues la pureza se puede determinar en cualquier mesa.

El análisis de pureza hecho en la UBS es un poco diferente al que se hace en un laboratorio de análisis de semillas para fines comerciales. El análisis de la UBS considera indeseables materiales tales como semillas partidas en más de dos partes y las semillas descascaradas, dañadas, pequeñas, o atacadas por insectos.

tos, mientras que en un análisis normal de laboratorio esta semilla se considera pura.

El cálculo de la cantidad de semilla deseable, restante después de retirar los materiales indeseables, varía entre especies y en algunos casos, como en la soya, también depende de la variedad. Sin embargo, hay una regla práctica que permite calcular las pérdidas:

EJEMPLO: En el caso de semilla de arroz, se pierde entre el 1 y el 3% del material deseable por cada 1% de material indeseable retirado; y en semilla de soya, se pierde entre el 2 y el 5%. En este caso, el peso final del lote sería:

	Arroz	Soya
Peso inicial del lote de semillas	2000 kg	2000 kg
Contenido de impurezas	5%	5%
Semilla perdida al remover impurezas	10% (2 x 5%)	20% (4 x 5%)
Total pérdidas (%)	15%	25%
Peso final del lote de semillas	1700 kg	1500 kg

Al separar semillas de *Vigna* de un lote de semillas de soya constituido por variedades con semillas pequeñas o no esféricas, la pérdida puede ser mayor del 30% del peso total del lote.

Descuentos por humedad e impurezas

Las condiciones finales (pos-beneficio) de humedad y pureza física de la semilla generalmente son diferentes de las condiciones iniciales al momento de su recepción. Con el fin de calcular descuentos y precios de compra es necesario hacer la equivalencia entre el peso de la semilla al llegar a la planta y el peso final en condiciones de compra o de almacenamiento. En muchos casos este cálculo se hace (por comodidad o por desconocimiento) usando la regla de tres; sin embargo, el resultado obtenido de esta forma no es correcto, con el consiguiente perjuicio para la empresa y/o el agricultor.

Un ejemplo de la **manera incorrecta** de calcular el descuento por humedad es el siguiente: Se tiene un lote de semillas de 15,000 kg de peso con un 24% de humedad y se desea saber el peso final luego de secar las semillas hasta alcanzar el 13% de humedad.

$$\begin{array}{l} \text{Diferencia de} \\ \text{humedad} \end{array} = 24 - 13 = 11\%$$

$$\text{Pérdida de agua} = 15,000 \times 11/100 = 1,650 \text{ kg}$$

$$\text{Peso final del lote} = 15,000 - 1,650 = 13,350 \text{ kg}$$

Si este método fuera correcto, al hacer el cálculo inverso se obtendría el mismo peso inicial: Si partimos de un lote de 13,350 kg con un 13% de humedad, ¿cuál sería su peso final si se humedeciera hasta un 24%? Usando el método anterior se obtiene:

$$\text{Diferencia de humedad} = 24 - 13 = 11\%$$

$$\text{Ganancia de agua} = 13,350 \times 11/100 = 1,468 \text{ kg}$$

$$\text{Peso final del lote} = 13,350 + 1,468 = 14,818 \text{ kg}$$

Como se puede observar, las dos respuestas son diferentes, **lo cual demuestra que el método no es correcto.**

Para calcular correctamente los cambios de peso debidos a cambios en el contenido de humedad de la semilla, se debe utilizar la siguiente igualdad:

$$P_i (100 - H_i) = P_f (100 - H_f)$$

donde:

P_i = Peso inicial del lote

H_i = Humedad inicial del lote
(%, base húmeda)

P_f = Peso final del lote

H_f = Humedad final del lote (%, base húmeda)

Utilizando esta fórmula en el ejemplo anterior se obtiene:

$$15,000 (100 - 24) = P_f (100 - 13)$$

$$15,000 \times 76 = P_f \times 87$$

$$P_f = \frac{15,000 \times 76}{87} = 13,103.4 \text{ kg}$$

Nótese la diferencia entre los resultados obtenidos usando el método correcto y el método de la regla de tres.

Si se considera la situación inversa (tal como se hizo con el ejemplo de la regla de tres) se obtiene:

$$13,103.4 (100 - 13) = P_f (100 - 24)$$

$$13,103.4 \times 87 = P_f \times 76$$

$$P_f = \frac{13,103.4 \times 87}{76} = 15,000 \text{ kg}$$

Como se puede ver, con la igualdad se obtiene el mismo resultado inicial, lo cual confirma la validez del método.

La Figura 2 presenta un monograma que permite calcular el peso final aproximado con base en el peso inicial y en el cambio en el contenido de humedad. Adicionalmente, la Tabla 2 permite calcular el peso final de un lote de semillas cuando se seca hasta el 13% de humedad.

También es posible calcular el descuento debido al contenido de impurezas de un lote de semillas, utilizando una igualdad similar a la anterior.

$$P_i p_i = P_f p_f$$

donde:

P_i = Peso inicial del lote

p_i = Pureza inicial (%)

P_f = Peso final del lote

p_f = Pureza final (%)

EJEMPLO: ¿Cuál es el peso final de un lote de semilla con un peso inicial de 8000 kg y una pureza inicial del 96%, si se desea que la pureza final sea del 99%?

$$\begin{aligned}
 8000 \times 96 &= P_f \times 99 \\
 P_f &= \frac{8000 \times 96}{99} \\
 &= 7757.5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Si se desea calcular simultáneamente los dos descuentos (por humedad y por impurezas), las dos igualdades anteriores se pueden combinar en una sola fórmula:

$$P_f = P_i \times \frac{(100 - H_i)}{(100 - H_f)} \times \frac{p_i}{p_f}$$

EJEMPLO: ¿Cuál será el peso final de un lote de semillas de 3500 kg de peso inicial con una humedad inicial del 19%, y una pureza física inicial del 94%, si se seca hasta el 13% de humedad y se acondiciona hasta el 99% de pureza?

$$\begin{aligned}
 P_f &= 3500 \times \frac{(100 - 19)}{(100 - 13)} \times \frac{94}{99} \\
 &= 3500 \times 0.931 \times 0.949 \\
 &= 3500 \times 0.884 \\
 &= 3092 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Es importante tener en cuenta que al remover las impurezas es necesario sacrificar semilla buena y esta pérdida adicional no está considerada en el cálculo anterior.

Pruebas rápidas de viabilidad

Existe la posibilidad de que lleguen a la UBS lotes de semillas con baja viabilidad (germinación). La presencia de estos lotes, o su permanencia prolongada en la planta, es indeseable. Para evitar estas situaciones existen algunas pruebas rápidas que ayudan al operador de la UBS a determinar la calidad de un lote. Entre estas pruebas están:

- a. La determinación del pH del exudado, que se puede hacer en 30 min para semillas de soya, frijol, maíz, algodón; en 60 min para semillas de cebada; y en 180 min para semillas de trigo y arroz (Anexo 3).
- b. La prueba de determinación de la conductividad eléctrica, realizada por medio de un equipo marca ASAC para semilla de soya; esta prueba dura un poco más de 20 horas.
- c. La prueba de tetrazolio, para casi todas las especies, la cual requiere alrededor de un día para su determinación y que el laboratorista tenga conocimientos básicos de anatomía de semillas (Anexo 4 y Tabla 3).
- d. La prueba de germinación fisiológica, requiere de 1 a 2 días para su evaluación (Anexo 5).
- e. La prueba de verde rápido, que se efectúa en pocos minutos y se usa en semillas de maíz para determinar el daño físico, el cual está relacionado con la viabilidad (Anexo 6).

- f. La prueba de inmersión en clórox o en agua para determinar el daño físico en semillas de soya y frijol (Anexo 7).

Otros análisis

Adicionalmente se pueden realizar otras pruebas rápidas al lote de semillas. Para determinar el daño físico del lote, comunmente se lleva a cabo la prueba de cloruro férrico (Anexo 8), y para determinar la presencia de arroz rojo se realiza la prueba del hidróxido de potasio (Anexo 9). La metodología empleada para cada una de estas pruebas se puede consultar en los libros de tecnología de semillas. Algunas publicaciones recomendadas incluyen:

- Amaral, A. D. S. y Peske, S. T. 1984. pH do exudado para estimar, em 30 minutos, a viabilidade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes* 6(3):85-92.
- Association of Official Seed Analysts. 1983. *Seed vigor testing handbook*. Lansing, Michigan, 88 pp.
- Association of Official Seed Analysts. 1984. *Rules for testing seeds*. Lansing, Michigan, 126 pp.
- Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. 1977. *Reglas internacionales para los ensayos de semillas*. Ministerio de Agricultura, Madrid, España, 184 pp.
- International Seed Testing Association. 1985. *International rules for seed testing 1985*. *Seed Science and Technology* 13(2):300-513.

- International Seed Testing Association. 1979. Handbook for seedling evaluation. Zurich, Suiza, 130 pp.
- International Seed Testing Association. 1981. Handbook of vigour test methods. Zurich, Suiza, 72 pp.

Otros aspectos

Para un adecuado control interno de calidad también es necesario efectuar un registro en el momento de recibir la semilla. Este registro sirve para identificar el lote y poder determinar en qué proceso se presentaron problemas durante el acondicionamiento del lote de semillas. Los aspectos que se deben registrar son los siguientes:

- a. La fecha de recibo del lote.
- b. El peso hectolítrico, principalmente para semillas de trigo.
- c. La identificación o código del lote. Es el "bautismo" de la semilla en la planta, con números y/o letras.
- d. El origen.
- e. La especie y la variedad.
- f. La forma de recibo, en sacos o a granel.
- g. El lugar y la fecha de cosecha.

En la Figura 3 se presenta un modelo de formulario para el registro de los datos durante el beneficio del lote de semillas.

III. Operaciones Especiales

Algunas semillas necesitan operaciones especiales para facilitar las operaciones de secamiento, acondicionamiento o de siembra. A continuación se presentan algunas de ellas.

Desariste

Es la remoción de apéndices o aristas en las semillas de cebada, avena, zanahoria, remolacha, pastos, y algunas semillas de especies forestales. El trabajo se efectúa por medio de martillos rotatorios que giran a velocidades específicas para cada especie con el fin de no dañar las semillas. El siguiente cuadro muestra las velocidades determinadas para algunos cultivos.

La cantidad de semillas y el tiempo que permanecen dentro de la máquina desaristadora, influyen sobre la calidad del trabajo realizado. El operario debe revisar constantemente el material que sale del equipo y las partes de éste para hacer los ajustes necesarios y garantizar la buena calidad de la operación.

Cultivo	Velocidad de rotación de los martillos (rpm)
<i>Andropogon gayanus</i>	380
Cebada	550
Avena	550
Lino	500
Zanahoria	500
<i>Echinochloa</i>	350

Desgrane

Consiste en la separación de los granos de maíz de la mazorca. Considerando que la semilla de maíz se cosecha en su mazorca para poder seleccionarla antes del desgrane y que la cosecha se debe realizar tan pronto la semilla alcanza la madurez fisiológica, es necesario secar las mazorcas hasta un 14-15%, pues en estas condiciones se minimiza el daño mecánico durante el desgrane. Una vez alcanzado este primer grado de secamiento se procede a desgranar y luego a secar la semilla hasta un 13% de humedad. Cuando no se puede seguir el proceso en este orden, por razones climáticas, de equipo, o de operación, se hace secar las mazorcas hasta el 13% y luego desgranarlas, con la consiguiente pérdida de calidad del lote de semillas debido al daño mecánico. Las desgranadoras de tipo semicónico con dentadura de hierro calado ocasionan menos daño a la semilla, especialmente cuando las revoluciones del cilindro se gradúan entre 400 y 450 rpm. En promedio la tusa representa un 14 a un 20% del peso, cuando tanto la tusa como la semilla tienen un contenido de humedad del 13%.

Prelimpieza

Esta operación se realiza antes del secamiento, pero no es necesaria en todos los lotes de semillas. Con ella se busca reducir la cantidad de material que se debe secar y por consiguiente la cantidad de agua que se va a extraer. Además, la prelimpieza facilita el paso del aire a través de la capa de semillas. Durante

esta operación el operario de la UBS debe tener en cuenta los siguientes factores:

- a. Es importante prelimpiar toda la semilla en el momento en que se recibe en la UBS.
- b. La dimensión de los orificios de la zaranda escogida debe ser adecuada para evitar la pérdida de la semilla buena, pues en esta operación es más importante un alto rendimiento de la máquina que una buena calidad de limpieza.

Es aconsejable que la máquina prelimpiadora (MPL) efectúe la separación de los materiales livianos mediante corriente de aire (separación por aire) y que remueva los materiales más grandes con zarandas. Es conveniente que estas zarandas sean del mismo tamaño (dimensiones exteriores) que las de la máquina de aire y zarandas para poder intercambiarlas. (Ver Capítulo V, Máquina de Aire y Zarandas.)

Rompimiento de la Latencia

Las semillas de un gran número de especies permanecen en un estado de latencia que se debe romper para que puedan germinar. En términos generales, la latencia puede ser fisiológica o física (semillas duras, impermeables al agua). Para romperla se usan tratamientos químicos, mecánicos, o térmicos; en algunos casos la latencia cesa con el tiempo.

El rompimiento de la latencia física se denomina escarificación y se utiliza en el caso de semillas duras que no embeben agua. La escarificación se puede efectuar aplicando métodos químicos o métodos mecánicos; así como hay muchas especies de semi-

llas duras cuya latencia se rompe con el sólo manipuleo normal en la UBS, existen otras a las que es necesario hacer una pequeña abertura en el tegumento para que la semilla embeba agua y germine, como las de *Stylosanthes capitata*. Otras semillas son aún más duras y requieren equipos o metodologías especiales para romper este estado. Para escarificar *S. capitata* químicamente, se utiliza ácido y se procede de la siguiente manera:

- a. Se prepara una solución de ácido sulfúrico con un 40% de concentración.
- b. Se colocan las semillas en un recipiente resistente al ácido.
- c. Se embeben todas las semillas en ácido sulfúrico (100 ml de ácido/kg de semilla).
- d. Se agitan las semillas durante 15 minutos.
- e. Se lavan bien las semillas con agua.
- f. Se reduce su contenido de humedad hasta los niveles aceptables (13%).
- g. Se remueven los materiales indeseables.

En semillas de *Brachiaria decumbens* se sigue el mismo procedimiento, salvo que se usan 120 ml de ácido/kg de semilla y se embeben en ácido durante 15 minutos. En semillas de *Brachiaria dictyoneura* se usa la misma cantidad de ácido pero durante 25 minutos. También es posible primero remover mecánicamente (con una peladora de arroz) las vainas de las semillas de *S. capitata* y posteriormente se sigue el

procedimiento anterior, pero dejando las semillas en ácido durante sólo 5 minutos.

La semilla se escarifica mecánicamente en un equipo sencillo que la frota contra una superficie abrasiva; esta abrasión ocasiona un daño mecánico controlado al tegumento para permitir la imbibición de agua. Es muy importante utilizar correctamente el equipo pues si está mal calibrado, puede causar daño mecánico severo a la semilla.

Es aconsejable sembrar la semilla escarificada dentro de un período no mayor a 60 días después del tratamiento, debido al bajo potencial de almacenamiento de las semillas.

En gramíneas como pensacola, arroz, y trigo, normalmente se combina el tiempo de exposición con la temperatura para romper la latencia, tal como se detalla a continuación:

Cultivo	Temperatura (°C)	Tiempo (días)
Pensacola	60	6
Arroz	50-55	4-7
Trigo	40	5

VI. Secamiento

Para lograr un mejor acondicionamiento y un mayor potencial de almacenamiento, la semilla debe tener un contenido de humedad no superior al 13%. Considerando que se debe cosechar tan pronto como la semilla alcanza la madurez fisiológica, y esto implica que su humedad probablemente esté por encima del 13%, es necesario realizar el secamiento a la mayor brevedad posible, ojalá inmediatamente después de la cosecha.

Durante el secamiento la temperatura de la semilla no debe estar por encima de los 40°C; por esta razón se debe controlar la temperatura del aire de secamiento con el fin de mantener este límite. Entre menor sea el contenido de humedad de la semilla, mejor soportará las altas temperaturas. Si el contenido de humedad de la semilla es alto (> 18%), no es aconsejable calentarla por encima de los 35°C; si la humedad es inferior al 18%, se puede calentar la semilla hasta los 40°C.

Con relación a la semilla que se va a secar es importante conocer:

- a. El contenido de humedad en equilibrio (Tablas 4, 5, y 6, y Figura 4).
- b. El grado de susceptibilidad al daño mecánico o a la temperatura; por ejemplo, la soya y el frijol son muy frágiles mientras que el arroz y el trigo son resistentes.
- c. La fecha de cosecha y su coincidencia con el período de lluvias.

- d. La humedad inicial y final de la semilla y el tiempo disponible para el secamiento.

Secamiento Natural

Consiste en utilizar la energía solar y el viento para secar las semillas. La metodología es la siguiente:

- a. Colocar la semilla en el piso de un patio o en una carpa grande, temprano en la mañana antes de que el suelo esté muy caliente y pueda causar daño a la semilla.
- b. Esparcir la semilla en la superficie en una camada ondulada (para aumentar la superficie de exposición) de máximo 10 cm de espesor.
- c. Revolver las semillas más o menos cada 30 min para evitar gradientes de humedad altos y temperaturas altas en la semilla y facilitar el secamiento.
- e. Determinar periódicamente la humedad de la semilla para saber en qué momento suspender el secamiento.

Uno de los problemas del secamiento natural es la dependencia en las condiciones ambientales; por lo tanto, es aconsejable secar tan pronto se recibe el lote de semillas.

Otro método recomendable es colocar la semilla en capas de 5 cm, en bandejas de fondo falso suspendidas por lo menos a 50 cm del piso para facilitar el paso del aire por encima y por debajo de las semillas y aumentar así la velocidad del secamiento (Figura 5).

Secamiento Artificial

Consiste en alterar las propiedades físicas del aire —aumentar su velocidad y temperatura y en algunos casos reducir su contenido de humedad— para secar las semillas. Dependiendo de la forma en que fluyan las semillas en el proceso de secamiento, se pueden considerar tres sistemas de secamiento artificial: secamiento estacionario, secamiento continuo, y secamiento intermitente.

Secamiento estacionario

Con este método las semillas no se mueven durante el secamiento. Existen varios sistemas de secamiento estacionario; el más común de ellos es el secador estacionario de fondo falso (Figura 6). También existe el sistema de secamiento estacionario formando túneles con las bolsas de semillas (Figura 7).

Las siguientes son las principales variables que influyen en la semilla y en el secamiento:

Humedad relativa (HR) del aire

Las semillas son materiales higroscópicos que pierden o ganan humedad con relación a la HR del aire. Durante el secamiento, la HR debe estar entre el 40 y el 70%. Durante las primeras horas de secamiento la HR puede ser menor (40%), pues en ese momento las semillas tienen humedades altas y temperaturas bajas, lo cual hace que demoren un poco para entrar en equilibrio higroscópico. Al final del secamiento la HR del aire debe ser más alta (70%), para evitar el sobresecamiento de las capas de semilla que ya

están secas (Tablas 4, 5, y 6 y Figura 4). Un método sencillo y preciso para medir la HR es utilizar un sicrómetro cuya construcción se describe en el Anexo 10.

Con este método de secamiento se necesita un humidistato para controlar el quemador, el cual se debe encender cuando la HR sea mayor al 70%, para calentar el aire alrededor de 10°C por encima de la temperatura ambiente. El siguiente cuadro muestra las condiciones generales del aire de acuerdo con la humedad de la semilla en sistemas de secamiento estacionario:

Humedad de la semilla (%)	HR del aire de secamiento (%)	Temperatura del aire de secamiento (°C)
25	30-80	30
25-20	40-70	35
20-15	50-60	40
> 60-50	40	

Temperatura

La temperatura máxima del aire de secamiento en sistemas estacionarios es de 40°C. Cuando las semillas tienen un alto contenido de aceite, se recomienda secarlas con aire a temperaturas inferiores a los 37°C. Normalmente se consigue que la HR esté por debajo del 70% sin necesidad de calentar el aire hasta los

40°C. El termostato se debe ajustar para que apague el quemador cuando la temperatura sea superior a los 40°C. Si el sistema no tiene termostato, el equipo se puede operar manualmente durante períodos cortos de tiempo (15 min) para no calentar las semillas por encima de la temperatura máxima recomendada.

Flujo de aire

Durante el secamiento el aire tiene dos funciones: absorber la humedad de la superficie de la semilla y llevarla hacia el exterior del secador. En condiciones tropicales (alta temperatura y alta HR del aire) se debe utilizar entre 4 y 17 m³ de aire/min/t de semilla. Entre mayor sea la humedad de la semilla, mayor debe ser el flujo de aire y viceversa.

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

EJEMPLO: Al secar una capa de 1.2 m de semillas de arroz con un contenido de humedad del 20%, en un silo secador de 8.0 m de diámetro y un flujo de aire de 13 m³/min/t, ¿cuál será el ventilador más apropiado?

Para seleccionar el ventilador se deben seguir los siguientes pasos. (En la Figura 8 se presentan algunas fórmulas geométricas requeridas en estos cálculos.)

- Determinar la presión estática.
- Calcular el volumen total de aire.
- Seleccionar el ventilador en la tabla de desempeño.

a. **Presión Estática.**

1. Area del silo = 3.14×42
= 50.3 m^2
2. Volumen de la semilla = $50.3 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ m}$
= 60.3 m^3
3. Peso volumétrico de la semilla = 0.58 t/m^3
4. Peso de la semilla = $60.3 \text{ m}^3 \times 0.58 \text{ t/m}^3$
= 35.0 t
5. Peso por unidad de área = $35.0 \text{ t}/50.3 \text{ m}^2$
= 0.70 t/m^2
6. Volumen de aire = $0.70 \text{ t/m}^2 \times 13 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$
= $9.1 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$
7. Con este dato se va al diagrama de Shedd (Figura 9) y se procede de la siguiente manera:
 - Localizar el valor 9.1 en el eje vertical.

- Desplazarse horizontalmente desde este punto hasta encontrar la curva para arroz.
- Desde este punto, bajar hasta el eje horizontal y leer el valor de la caída de presión del aire, que en este ejemplo es igual a 52 mm H₂O/m de espesor de la capa de semilla.

$$\begin{aligned}
 8. \text{ Caída de presión total} &= 1.2 \text{ m} \times 52 \text{ mm} \\
 &\text{H}_2\text{O/m} \\
 &= 62.4 \text{ mm H}_2\text{O}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 9. \text{ Presión estática} &= \text{Factor de} \\
 &\text{seguridad} \\
 &\times \text{Caída de presión}
 \end{aligned}$$

Este factor de seguridad es un ajuste por impurezas, contenido de humedad de la semilla, y otras variables que causan pérdidas de presión en el sistema. Generalmente se utiliza un valor de 1.3 como factor de seguridad en el caso de ventiladores conectados directamente al silo sin curvas, codos, u otras restricciones, que causan pérdidas de presión adicionales y que se deben considerar por separado.

$$\begin{aligned}
 10. \text{ PRESION ESTATICA} &= 1.3 \times 62.4 \\
 &= 81.1 \text{ mm H}_2\text{O}
 \end{aligned}$$

b. Volumen Total de Aire.

1. Peso de la semilla = 35.0 t (Ver a.4)
2. Flujo de aire = 13 m³/min/t

$$\begin{aligned} 3. \text{ VOLUMEN DE AIRE} &= 35.0 \text{ t} \times 13 \text{ m}^3/\text{min} \\ &= 455 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

c. Selección del Ventilador

Una vez se conoce el caudal de aire necesario (m^3/min) y la presión estática (mm de H_2O) que debe tener este caudal, se procede a seleccionar el ventilador más adecuado.

El ventilador requerido en este ejemplo debe generar un volumen de aire igual a $455 \text{ m}^3/\text{min}$ con una presión igual a $81.1 \text{ mm H}_2\text{O}$. Con esta información se va a las tablas de los fabricantes o de los vendedores de ventiladores y se selecciona el que más se ajusta a los valores encontrados. Las Tablas 7 y 8 presentan este tipo de información; en ellas se puede observar que en el caso del ejemplo, el ventilador centrífugo modelo 80 proporciona $591 \text{ m}^3/\text{min}$, requiriendo 16.5 bhp para una presión de $75 \text{ mm H}_2\text{O}$ y 20.8 bhp para una presión de $100 \text{ mm H}_2\text{O}$. Asimismo, el ventilador axial modelo 44 genera un caudal de $600 \text{ m}^3/\text{min}$, requiriendo 15.6 bhp para una presión estática de $75 \text{ mm H}_2\text{O}$.

Es importante tener en cuenta que el caudal del ventilador, la presión estática, y la potencia necesaria se ven afectados por la temperatura del aire y la altura sobre el nivel del mar a la cual va a trabajar el ventilador. Si la temperatura es diferente a 21°C y la altitud es diferente a 0 m sobre el nivel del mar, se deben aplicar factores de corrección al seleccionar el ventilador. La Tabla 9 presenta un ejemplo de cómo variar el caudal, la presión estática, y la potencia del ventilador para diferen-

tes espesores de la capa de semillas. El caudal aumenta linealmente con el aumento del espesor de la capa, pero la presión y la potencia aumentan rápidamente.

Cuando ya se cuenta con el sistema de secamiento y se desea verificar si la cantidad de aire disponible es la correcta, se toma el modelo del ventilador y sus curvas o tablas de desempeño para determinar la presión y el flujo de aire que ese ventilador produce. Sin embargo, si no se tienen estas tablas, para determinar el flujo del aire se puede utilizar el método descrito en el Anexo 11, el cual se aplica a continuación.

Se utiliza un manómetro en "U", que se puede construir fácilmente tal como se describe en el Anexo 12 y en la Figura 10. Este manómetro tiene el extremo inferior cerrado y aguzado para facilitar su inserción en la capa de semillas; tiene además varios orificios pequeños, perforados a diferentes ángulos, que permiten medir la presión estática a ese nivel dentro de la capa de semillas.

Para medir la presión se debe nivelar la capa de semillas en el silo. El tubo se introduce perpendicularmente en la masa de semillas hasta una profundidad determinada, preferiblemente 1 m. Es conveniente medir la presión estática en varios puntos a una misma profundidad y después calcular el promedio. Conocida la presión estática a esa profundidad, se calcula la presión por metro de capa de semilla. Luego, con este valor y con el diagrama de Shedd (Figura 9), se determina el flujo del aire en $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$.

Conociendo el área de la base del secador es posible determinar el caudal total producido por el ventilador

en m^3/min , y conociendo la capacidad del silo (toneladas de semillas en el secador para esa profundidad de capa), se puede determinar el flujo de aire en $\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$. Las Tablas 10 y 11 presentan los pesos volumétricos para diferentes tipos de semillas. Con este dato y el volumen de la masa de semillas se puede calcular la cantidad de semillas que se va a secar.

Si este valor se encuentra entre 4 y $17 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$ el ventilador está en condiciones de mover suficiente aire para secar esa capa de semilla. Si el valor calculado es menor se debe usar una capa de semillas más delgada, y si es mayor se puede usar una capa mayor, siempre y cuando no sea superior a 1.2 m de espesor. Este método para determinar la presión estática es más preciso que si se mide en el plenum.

Un ejemplo del procedimiento es el siguiente: Se introduce el tubo a una profundidad de 0.75 m en diferentes puntos de la masa de 10 t de semilla de arroz contenidas en un silo de 4 m de diámetro. Se determina una presión promedio de 46 mm de H_2O , que equivale a $46/0.75 = 61.3 \text{ mm H}_2\text{O}/\text{m}$. Observando el diagrama de Shedd para semillas de arroz, se determina que el flujo de aire para esta presión es de $10 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ de piso. Como el área es $3.14 \times 2^2 = 12.6 \text{ m}^2$, el caudal de aire es $12.6 \times 10 = 126 \text{ m}^3/\text{min}$. El flujo por tonelada de semilla se calcula dividiendo el caudal de aire por la masa de semillas:

$$\frac{126 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}}{10 \text{ t}} = 12.6 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$$

En este caso se puede concluir que las condiciones de operación del secador son apropiadas.

Capacidad de secamiento

En general, se puede asumir que la velocidad de secamiento es constante en el rango de humedad de la semilla entre el 22 y el 13%. Con base en esto se puede calcular el tiempo aproximado que se demorará en secar la capa en contacto con el piso falso. Así, por ejemplo, si el contenido de humedad de dicha capa era de 22% a las 9 a.m. y al muestrearla a las 11 a.m. se encuentra que la humedad ha bajado a 20%, se puede calcular la velocidad de secamiento por hora de la siguiente manera:

$$\frac{(22 - 20)\%}{(11 - 9) \text{ h}} = 1\%/h$$

Si se desea secar hasta el 13% se debe remover un 9% (22 - 13) de humedad. Si la velocidad de secado es de 1%/h, entonces se requerirán 9 h; o sea hasta las 6 p.m. aproximadamente, hora en que se espera que la capa inferior esté seca. A partir de ese momento es necesario estar tomando muestras de las otras capas para determinar cuándo terminar el secamiento.

Este cálculo es aproximado pues son muchos los factores que intervienen durante el secamiento, pero es indicativo de la duración del proceso. En general, un secador de fondo falso demora 24 h para secar cada carga.

Los secadores con distribución radial de aire están diseñados para que cada carga demore alrededor de 24 h para secar. Por tanto, dependiendo de la cantidad de semillas, se necesitará una batería de un número adecuado de silos.

Es importante resaltar que estos secadores (de fondo falso y de distribución radial) también funcionan como almacenadores; al inicio de la cosecha todos funcionan como secadores y después algunos van quedando como almacenadores; al final de la cosecha es posible que solamente uno funcione como secador.

Frente de secamiento

En el secador de fondo falso el frente de secamiento se mueve de abajo hacia arriba y en el de distribución radial se mueve del centro hacia la periferia. Es importante conocer la dirección y el sentido en que se mueve el frente de secamiento para tomar correctamente las muestras y determinar el contenido de humedad; las muestras deben contener semillas de toda la capa evaluada sin mezclarlas con semillas de otras capas. El secamiento del lote de semillas termina cuando la capa de semillas que está más distante de la entrada del aire ha alcanzado la humedad deseada. Es aconsejable que todas las capas estén secas, pues si una sola queda húmeda ocasionará problemas durante el almacenamiento.

Se tiene la idea errada de que durante la descarga del secador se produce una buena mezcla de semillas húmedas y secas; sin embargo, esto no siempre ocurre y es mejor secarlas todas muy bien.

Para que el secamiento en los silos secadores sea uniforme, se debe preparar adecuadamente la capa de semillas. Esto quiere decir que en el secador de fondo falso la altura debe ser igual en todos los puntos del silo, mientras que en el de distribución radial el arrume de semillas debe tener la forma de un cono.

En el secador de distribución radial de aire es muy difícil conseguir uniformidad en el secamiento (la parte superior del secador, distante del tubo central, queda más húmeda). Por tanto, al final del secamiento es recomendable transportar las semillas a otro secador (o al mismo) con el fin de uniformizar la humedad.

En las primeras horas de secamiento se deben tomar muestras cada 2 h, de capas de 30-40 cm, para detectar el momento en que se encuentra seca la capa de semillas que está cerca de la entrada de aire; en este punto es necesario aumentar la HR del aire de secamiento (disminuyendo su temperatura) para evitar el sobresecamiento de esta primera capa. Posteriormente, el muestreo se hace a intervalos mayores; cuando la temperatura y la HR del aire son casi iguales a la salida del silo y en el plenum, el secamiento está en su fase final. Cuando la humedad de la semilla es alta (superior al contenido de humedad en equilibrio) es posible efectuar el secamiento incluso con aire con una HR alta (Tablas 4, 5, y 6 y Figura 4).

Para estar seguro de que el aire está removiendo agua de las semillas, se puede determinar la HR del aire en el plenum y a la salida del secador. Si la HR a la salida es mayor que la HR del aire en el plenum, se puede concluir que el aire está secando el lote de semillas. Esto es válido especialmente en el caso de semillas con un alto contenido de humedad (20%), las cuales pierden agua incluso cuando se usa aire con altas HR (70-80%) (Figura 4).

En la Figura 11 aparece la carta sicrométrica en la cual se relacionan las diferentes propiedades termo-

dinámicas del aire. Si se requiere mayor información relacionada con este tema se puede consultar la literatura disponible sobre termodinámica o sobre secamiento, como por ejemplo:

- Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W.; y Hall, C. W. 1978. *Drying Cereal Grains*. Ari Publishing Co. 265 pp.
- Dávila, S.; Peske, S. T.; y Aguirre, R. 1987. *Beneficio de Semillas*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 167 pp.
- Henderson, S. M. y Perry, R. L. 1979. *Agricultural Process Engineering*. Ari Publishing Co. 442 pp.

El Anexo 10 describe la manera de construir un sicrómetro de voleo para determinar la HR del aire, y en la Figura 12 aparece el dibujo del sicrómetro. Las Tablas 12, 13 y 14 permiten también determinar la HR del aire con base en las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo. La Tabla 15 permite convertir valores de temperatura de °C a °F y viceversa.

Daño mecánico

En el momento de cargar el secador de fondo falso se recomienda prender el ventilador y colocar una escalilla amortiguadora para minimizar los daños mecánicos ocasionados mientras se carga el silo. Como este procedimiento no es posible en el secador de distribución radial de aire, se recomienda bajar el pistón que se encuentra dentro del tubo central y prender el ventilador, haciendo que el aire salga solamente por la parte de abajo del secador y forme un colchón que amortigüe la caída de la semilla.

Las semillas con una humedad inferior a 10% son muy susceptibles al daño mecánico. Teniendo en cuenta que una camada de semilla está seca cuando entra en equilibrio higroscópico, se debe tener mucho cuidado con el aire que pasa por la capa de semilla que queda cerca de la salida del aire pues se puede secar en exceso, especialmente cuando el aire de secamiento tiene menos del 40% de HR (Tablas 4, 5, y 6 y Figura 4).

Mezcla varietal

En las plantas grandes de beneficio el accionamiento de carga de los silos secadores y almacenadores normalmente se efectúa por control remoto, lo cual aumenta la probabilidad de equivocarse y enviar semillas de otra variedad a un secador lleno. Para evitar estos errores, se coloca un desvío en el tubo de entrada de semillas del secador; este desvío permanecerá abierto, cerrando la entrada principal del tubo cuando el secador esté lleno, impidiendo que se mezclen las semillas. En las UBS donde se ha instalado este mecanismo, es común ver semillas en el piso cerca de los secadores, demostrando así la utilidad del desvío, que funciona como una válvula de seguridad.

Para evitar mezclas varietales es aconsejable utilizar siempre un mismo secador para una misma variedad; cuando ésto no es posible, se deben limpiar muy bien los secadores, principalmente los que utilizan el sistema de distribución radial de aire, pues las semillas pueden quedarse fácilmente en las aberturas de las salidas de aire en la pared del secador. La limpieza no debe hacerse a la ligera y se requieren varias horas para limpiar cada secador.

Supervisión del equipo

Se debe revisar el quemador permanentemente para evitar que se dañe o que consuma mucho combustible. También se debe revisar la calibración del humidistato y del termostato. El ventilador, a pesar de ser el "corazón" del sistema, exige poca revisión. Es importante mantener abiertas las compuertas de salida de aire del secador, de lo contrario el flujo de aire disminuirá apreciablemente. Para evitar abrir y cerrar continuamente las compuertas superiores de los silos es conveniente reemplazarlas con chime-neas, las cuales permiten el paso del aire y no del agua.

Cuando se seca semilla con aire caliente en silos secadores estacionarios es importante no apagar repentinamente la fuente de calor ya que se puede condensar vapor de agua dentro del secador, especialmente cuando el aire ambiente exterior está más frío, tal como ocurre durante la noche y en la madrugada. Esto se explica si se considera que luego de trascurrido un tiempo de secamiento con aire caliente (por ejemplo, a 40°C), tanto las paredes y el techo del secador como la semilla se calientan por encima de la temperatura ambiental. Si se deja de calentar el aire, el ventilador empieza a pasar aire exterior a través de las semillas.

Este aire enfría las paredes y el techo del secador por debajo del punto de rocío, causando condensación dentro del silo y humedecimiento de las semillas, con la consiguiente pérdida de calidad. También puede ocurrir condensación en el exterior del silo no sólo si se apaga la fuente de calor sino también si se apaga el ventilador, pues el aire frío del exterior enfría rápi-

damente las paredes y el techo. Para evitar este fenómeno, se debe reducir gradualmente la temperatura del aire, permitiendo que todo el sistema se enfríe simultáneamente sin causar condensación.

Secamiento continuo

Los secadores continuos o torres de secamiento se utilizan para secar grandes volúmenes de granos, tales como el arroz y el sorgo; no son recomendados para secamiento de semillas. En este sistema, el material entra húmedo por la parte superior del secador y va bajando lentamente hasta llegar al fondo. Durante todo este tiempo, una corriente de aire caliente pasa a través del material. Si el grano aún está húmedo al salir del secador, se recircula hasta que alcance la humedad final deseada.

En el secamiento continuo la semilla está en contacto con el aire caliente durante todo el tiempo que permanece en el secador; en los secadores intermitentes (que se explican más adelante), la semilla está en contacto con el aire caliente solamente mientras pasa a través de la cámara de secado.

A pesar de no ser recomendable, se puede llegar a utilizar un secador continuo para secar semillas si se toman algunas precauciones tales como:

Temperatura

Debido a que las semillas están continuamente en contacto con el aire caliente, la temperatura del aire no debe ser superior a los 40°C.

Descarga

No es aconsejable secar algunos tipos de semillas de una sola pasada. Por ejemplo, si se tiene la semilla de arroz con una humedad inicial del 20%, se recomienda secarla hasta un 16 o 17% y luego trasportarla a un depósito durante uno o dos días para luego secarla hasta el 13%.

Determinación de la humedad

Es recomendable tomar muestras de la descarga del secador cada 15 minutos para determinar la humedad de las semillas.

Limpieza del secador

Dentro del secador hay muchos sitios donde las semillas pueden alojarse; por tanto la limpieza se debe hacer cuidadosamente, utilizando el siguiente equipo:

1. Una luz fuerte para poder mirar dentro del secador.
2. Un sistema de aire comprimido.
3. Un aspirador portátil con un tubo largo.

En algunos modelos es necesario abrir una ventana en el cuerpo del secador para hacer la limpieza adecuadamente.

Secamiento intermitente

Tal como sucede con el secador continuo, en el secador intermitente las semillas entran por la parte superior y descienden lentamente hasta que son

descargadas por la parte inferior, pero entran en contacto con el aire caliente sólo al pasar por la cámara de secamiento (Figura 13).

Este proceso se repite hasta que las semillas alcanzan la humedad deseada para su acondicionamiento y almacenamiento. Las características principales de este método de secamiento son:

Temperatura

Se controla la temperatura del aire, la cual puede ser bastante alta pues las semillas están en contacto con el aire caliente durante períodos cortos. En los secadores intermitentes rápidos (SIR), las semillas permanecen en contacto con el aire caliente durante ± 1.5 min y luego entran en contacto con el aire ambiente durante 15 min en una relación de 1:10 (puede ser de 1:8 - 1:15). Es decir, la semilla pasa rápidamente por la cámara de secado.

En los secadores intermitentes lentos (SIL), las semillas están en contacto con el aire caliente durante ± 15 min y con el aire ambiente durante los siguientes 15 min, en una relación de 1:1 (puede ser de 1:0.5 - 1:3).

Es importante utilizar exactamente las temperaturas que se indican en el siguiente cuadro. Si se emplean valores más altos se corre el riesgo de matar la semilla por exceso de calor, mientras que con temperaturas más bajas las semillas tienen que dar más vueltas por el secador, aumentando el riesgo de ocasionarles daño mecánico. En este tipo de secadores, cada ciclo o cada recirculación dura entre 15 y 90 minutos dependiendo del modelo y de las condiciones

de operación del secador. Para evitar el choque térmico a las semillas, se recomienda iniciar el secamiento con aire a 40°C durante 15 min, subir luego la temperatura a la indicada en el cuadro anterior, y finalmente bajar a 40°C durante 15 min y utilizar aire ambiente durante los últimos 15 min.

A continuación se dan las temperaturas de secamiento para algunos cultivos:

Cultivo	Temperatura del aire (°C)	
	SIR (1:10)	SIL (1:1)
Arroz	70	70
Trigo	80	70
Soya	70	60
Sorgo	70	70
Frijol	70	60
Raigras	80	70

Control de la temperatura

Se puede hacer manualmente abriendo y cerrando una compuerta ubicada en el conducto de entrada del aire al secador. Cuando se utiliza madera como fuente de energía calórica, se deben regular los cambios en la temperatura colocando un termómetro a la entrada del aire en un sitio visible. Es aconsejable conectar una alarma al termómetro para que avise cuando la temperatura pasa de los límites permitidos.

También es aconsejable poner un termógrafo en la entrada del aire para registrar los cambios de temperatura ocurridos durante el secamiento. Este instru-

mento es muy útil para supervisar el trabajo del personal encargado del secamiento durante la noche, pues mide y registra permanentemente la temperatura y permite determinar si ésta se mantuvo dentro de los límites establecidos.

Homogeneización

Como se trata de un secamiento rápido, una vez secas se colocan las semillas en un depósito a granel (caja de enfriamiento) durante 1 a 2 h para que la humedad del interior de la semilla se mueva hacia la periferia lo más pronto posible; así se minimiza el problema de fracturas, el cual es muy frecuente en el secamiento de la semilla de arroz y maíz.

Daños mecánicos

En el secador propiamente dicho no se presentan daños mecánicos; el problema ocurre en el elevador que está recirculando las semillas. Las semillas altamente susceptibles al daño mecánico, como la soya y el frijol, no deben pasar a través del secador más de 5 veces. Es decir, no es posible secar semilla de soya en los SIR si ésta tiene más de 16% de humedad, ni tampoco se puede secar en los SIL si la humedad está por encima del 18%.

Capacidad de secamiento

Generalmente el modelo del secador indica su capacidad volumétrica (la cantidad de semilla en toneladas o en bolsas que cabe en el secador). Así, el secador KW 8 puede contener hasta 8 t, el SV 110 tiene capacidad para 110 bolsas de 50 kg ó 5.5 t, y el 90 AL/BL tiene capacidad para 90 bolsas de 50 kg ó 4.5 t.

El tiempo requerido para el secamiento de un lote de semillas desde un 18 hasta un 13% de contenido de humedad en los SIL es de aproximadamente 4 horas. Si se considera que se requiere 1 hora para las operaciones de carga y descarga, es factible secar cuatro cargas por día, o sea 32 t/día en el modelo KW 8, y 22 t/día en el modelo SV 110.

No es recomendable utilizar los SIL a media capacidad pues en estas condiciones las semillas sufren daño mecánico al caer y golpearse contra los ductos internos del secador. En los SIR no se presenta este problema, pues no existen tales ductos en la parte superior y la semilla sencillamente cae sobre otra capa de semillas sin ocasionar daños.

Manipuleo de las semillas

Al llegar las semillas a la UBS se prelimpian y pasan a un depósito pulmón (caja o silo de húmedo) mientras esperan que el secador quede libre y se puedan cargar en él. Durante la carga del secador se desconecta el sistema de descarga para evitar atascamientos. En el SIL las semillas deben llenar incluso la parte superior del secador (sombbrero) donde no hay ductos, para evitar pérdidas de aire. Después del secamiento se cambia la salida en el elevador para que las semillas sean trasportadas al depósito seco, o caja de homogeneización.

Si se tiene que reparar el secador, se debe:

1. Desconectar el sistema de descarga.
2. Desconectar el trasportador que conduce las semillas al elevador.

Para reiniciar la operación se invierte el proceso así:

1. Conectar el elevador.
2. Conectar el transportador.
3. Conectar el sistema de descarga.

Control de humedad

Para determinar el contenido de humedad de la semilla, se toman muestras cada 15 min de la descarga del secador. Como la semilla está un poco caliente y más seca en la periferia que en su interior, es conveniente dejar la muestra en un recipiente hermético durante 10 min hasta que se enfríe y se reduzca su gradiente interno de humedad. En esta forma no se tendrán problemas con los medidores de humedad que trabajan con base en la resistencia eléctrica de las semillas y pueden dar resultados erróneos cuando no se tiene esta precaución.

Limpieza

Las mismas recomendaciones que se hacen para la limpieza del secador continuo son válidas para el SIR, con la diferencia de que en este caso la tarea es mucho más fácil pues son pocos los sitios donde las semillas pueden quedarse y una persona puede entrar al secador a hacer la limpieza. No es conveniente utilizar como semilla las bolsas que contienen la primera semilla que entró al secador después de un cambio de variedad; es posible que a pesar de la limpieza algunas semillas de la variedad anterior queden dentro del secador.

Se debe revisar principalmente el sistema de descarga, el elevador, y el quemador.

Fuente de Energía

Existen muchas fuentes de energía (Tabla 16), cuyo precio varía entre países dependiendo de la disponibilidad del combustible utilizado. Una de las inquietudes de los operadores de una UBS es el costo del combustible para el secamiento.

Consumo de combustible

Secador estacionario de piso falso

EJEMPLO: En un silo secador de piso falso se desea secar hasta el 13%, 36 t de semilla con un contenido de humedad inicial del 18%. Si se utiliza combustible diesel como fuente de energía, con un flujo de aire de $10 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$ calentando el aire de 30 a 40°C , ¿cuántos litros de combustible se consumirán?

Considerando que el calor específico del aire en unidades internacionales en estas condiciones es aproximadamente igual a $1 \text{ kJ}/\text{kg}/^\circ\text{C}$, se puede expresar que:

Consumo de energía = $\frac{\text{Flujo del aire} \times \text{Aumento temp.}}{\text{Volumen específico del aire}}$

$$\text{KW} = \frac{(\text{m}^3/\text{seg}) (^\circ\text{C})}{(\text{m}^3/\text{kg})}$$

$$\begin{aligned}\text{Flujo de aire} &= \frac{10 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t} \times 36 \text{ t}}{60 \text{ seg}/\text{min}} \\ &= 6 \text{ m}^3/\text{seg}\end{aligned}$$

Si el aumento de temperatura es de 10°C y el volumen específico del aire a 40°C y de 25% HR (Figura 11) es de 0.90 m³/kg, entonces:

$$\begin{aligned}\text{Consumo de energía} &= \frac{6 \times 10}{0.90} = 66.7 \text{ kW} \\ &= 66.7 \text{ kJ}/\text{seg}\end{aligned}$$

Como el diesel tiene un contenido de energía calórica igual a 39,000 kJ/litro (Tabla 16), entonces:

$$\begin{aligned}\text{Consumo de combustible} &= \frac{66.7 \text{ kJ}/\text{seg} \times 3600 \text{ seg}}{39.000 \text{ kJ}/\text{litro}} \text{ h} \\ &= 6.2 \text{ litros}/\text{h}\end{aligned}$$

Si se utiliza un quemador directo con una eficiencia del 80%, entonces:

$$\begin{aligned}\text{Consumo de combustible} &= 6.2/0.8 \\ &= 7.7 \text{ litros}/\text{h}\end{aligned}$$

Como este secador requiere alrededor de 48 h para secar, de las cuales aproximadamente 30 h utilizan aire caliente, entonces:

$$\begin{aligned}\text{Consumo total} &= 30 \times 7.7 = 231 \text{ litros} \\ \text{Consumo por tonelada} &= 231 \text{ litros}/36 \text{ t} \\ &= 6.4 \text{ litros}/\text{t}\end{aligned}$$

Considerando que el costo del diesel sea de US\$ 0.25/litro, entonces:

Costo unitario del combustible = US\$ 1.6/t.

Secador intermitente

EJEMPLO: Suponiendo que se desea secar hasta el 13%, 6 t de semilla de arroz, con un contenido inicial del 18% de humedad, en un secador intermitente, utilizando diesel como fuente de energía, con un flujo de aire de 80 m³/min/t (este tipo de secador utiliza flujos altos de aire), y calentando el aire de 25 a 70°C, ¿cuántos litros de combustible se consumirán?

Considerando que el aire sólo pasa a través del 25% del volumen total de la semilla, entonces:

$$\text{Flujo de aire} = \frac{80 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t} \times 6 \text{ t} \times 0.25}{60 \text{ seg}/\text{min}}$$

$$= 2 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Aumento de temperatura} = 70 - 25 = 45^\circ\text{C}$$

$$\text{Volumen específico del aire a } 70^\circ\text{C (Figura 11)} = 0.98 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Requerimientos de energía} &= 2 \times 45 \\ &= 91.8 \text{ kJ}/\text{seg} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo de diesel} = \frac{91.8 \text{ kJ}/\text{seg} \times 3600 \text{ seg}/\text{h}}{39,000 \text{ kJ}/\text{litro}}$$

$$= 8.5 \text{ litros}/\text{h}$$

Si se utiliza un quemador indirecto (60% eficiencia), entonces:

$$\begin{array}{l} \text{Consumo de} \\ \text{combustible} \end{array} = 8.5/0.6 = 14.1 \text{ litros/h.}$$

Este tipo de secador intermitente lento necesita 3.5 h para secar las 6 t, por tanto:

$$\begin{array}{l} \text{Consumo total de} \\ \text{combustible litros} \end{array} = 3.5 \times 14.1 = 49.4$$

$$\begin{array}{l} \text{Consumo por} \\ \text{tonelada} \end{array} = 49.4/6 = 8.2 \text{ litros/t}$$

Considerando que el costo del diesel sea de US\$ 0.25/litro, entonces:

$$\begin{array}{l} \text{Costo unitario del} \\ \text{combustible} \end{array} = 8.2 \text{ litros/t} \times \text{US\$ } 0.25/\text{litró} \\ = \text{US\$ } 2.10/\text{t}$$

Esta diferencia en el costo de secamiento entre los dos sistemas se debe a que el secador estacionario es térmicamente más eficiente que el secador intermitente. En el secador estacionario, el aire pasa continuamente a través de toda la capa de semillas por lo cual tiene mayor oportunidad de absorber la humedad del lote. En el secador intermitente, el aire pasa sólo a través de una parte de las semillas y, por tanto, tiene menos oportunidad de humedecerse.

Para evaluar los costos totales de secado de los dos sistemas (intermitente y estacionario) se debe considerar además:

- El costo inicial de los equipos.
- El costo de la mano de obra para ambos sistemas.
- El consumo de energía del ventilador y del equipo accesorio durante el tiempo que dura el secamiento.

Además se debe considerar que el sistema más barato no siempre es el más adecuado; otros factores tales como el tipo de semilla que se va a secar, la región donde se realiza el secamiento, y la época del año cuando se va a utilizar pueden determinar el sistema que se debe utilizar.

Quemadores

Los combustibles utilizados para calentar el aire de secamiento varían de país a país y de región a región, especialmente en América Latina. En general, los combustibles más utilizados son diesel, fuel-oil, kerosene, propano, carbón mineral, madera, y residuos de cosecha (e.g. cascarilla de arroz).

Se utilizan intercambiadores de calor directos o indirectos; los primeros son térmicamente más eficientes (80%). Los quemadores de combustible líquido o gaseoso, se pueden controlar por medio de un termostato, y, de ser posible, por un humidistato, de tal forma que el quemador se apague si la HR es muy baja, o si la temperatura del aire es excesiva, y se prenda si la HR del aire es muy alta o la temperatura muy baja. Estos equipos de control se deben instalar siguiendo las instrucciones del fabricante. Es necesario hacer un buen mantenimiento a los quemadores e intercambiadores, especialmente a las partes más delicadas

como son los filtros y los electrodos. Los quemadores de gas son sencillos de operar, requieren poco mantenimiento y regulan la temperatura dentro de un margen pequeño de variación.

Los quemadores de madera, de residuos de cosecha, y, en menor medida, de carbón mineral requieren revisión constante pues el combustible se consume con rapidez y es necesario estar alimentándolos continuamente para mantener la temperatura dentro del rango deseado. Los hornos quemadores deben ser construidos por una persona que tenga experiencia en este tipo de trabajos; éstos deben ser resistentes a las temperaturas altas que se producen durante la combustión. Siempre que sea posible, se debe ubicar el quemador y el intercambiador fuera de los edificios principales de la UBS, debido al calor que producen y al riesgo de incendio.

Los quemadores de combustible sólido no se pueden prender y apagar tan fácilmente como los de combustibles líquidos y gaseosos. Por esta razón, para controlar la temperatura se usa una compuerta que permite la entrada de aire ambiente más frío (cuando la temperatura del aire de secado es muy alta). Este control de la temperatura no es tan preciso como el que permite el termostato en los otros quemadores y requiere de una atención permanente por parte del operario.

Control de Calidad

Se debe secar la semilla tan pronto como se recibe en la planta y el secamiento se debe hacer lo más rápido posible, sin deteriorar la calidad de las semi-

llas. El secamiento es una operación esencial para el almacenamiento; en las circunstancias en que se lleva a cabo es también una operación muy riesgosa, pues se puede causar daño a la semilla: por temperaturas altas, por sobresecado, por secado muy rápido o muy lento, por daño mecánico durante el manejo, o por la mezcla de variedades. Es recomendable llevar registros de las operaciones para tener la historia de cada lote y poder detectar algún problema en caso de necesidad.

Parte del control interno de calidad incluye tomar una muestra del lote de semilla en el momento de la descarga en la tolva de recepción; esto permite determinar si es necesario prelimpiar y secar. Los daños causados a la semilla durante el secamiento generalmente se manifiestan 2 ó 3 meses después, razón por la cual algunos operadores de las UBS se olvidan del control de calidad durante esta operación. Por tanto, se deben guardar las muestras tomadas durante el secamiento durante 2 ó 3 meses para determinar su viabilidad en ese momento. Las pruebas de viabilidad son sencillas (Ver "Pruebas Rápidas de Viabilidad", Capítulo II), pues no son oficiales sino pruebas internas de control.

Un lote de semillas puede tener hasta 40 t. Muchos modelos de secadores intermitentes no tienen esta capacidad en una tanda, por lo cual es necesario dividirla en sublotes y llevar registros independientes para cada uno de ellos. Por otro lado, pueden sobrar porciones pequeñas de varios lotes y hay que mezclarlas para completar la carga del secador. En estos casos hay que tener cuidado de mezclar sólo porciones de lotes con características similares.

Las semillas con un alto contenido de almidón no se deben calentar por encima de los 40°C y las semillas con un alto contenido de aceite no se deben calentar por encima de los 37°C; las semillas de cereales con un 13% de humedad soportan temperaturas de hasta 55°C. Cuanto más baja sea la humedad de la semilla, más alta es la temperatura que soporta; así, la semilla de arroz con un 4% de humedad soporta 65°C durante 6 días.

Para controlar estos límites, es necesario medir la temperatura de la semilla y no la temperatura del aire que la rodea. Existe una forma sencilla de efectuar esta medición: se saca la muestra (mínimo 500 g) de la capa de semilla que esté más cerca a la entrada del aire caliente, inmediatamente se coloca en un recipiente térmicamente aislado (puede ser un termo, una caja de icopor, etc.), se cierra el recipiente, y por un agujero se introduce un termómetro. Después de 3 a 5 minutos se hace la lectura de temperatura de las semillas. Para evitar errores de medición no debe haber mucha diferencia entre la temperatura del recipiente y la de las semillas; una forma de lograrlo es manteniendo el recipiente cerca del sitio donde se va a tomar la muestra. En los secadores estacionarios, en los que se utilizan temperaturas hasta los 40°C, no se presentan problemas de sobrecalentamiento de la semilla.

En el secamiento no se puede olvidar que hay pérdidas de peso debido a la remoción de agua y de algunos otros materiales que salen arrastrados por el aire de secamiento, principalmente polvo. Muchas veces el operador de la UBS pasa trabajos "explicando" estas pérdidas al contador o al auditor de la empresa

que no entiende por qué al terminar faltan 500 kg de "semilla" (Tabla 2).

Se debe empezar el secado de las semillas con un alto contenido de humedad (20%) lo más pronto posible, pues en un corto espacio de tiempo (24 h) pueden perder su capacidad para germinar. Cuando la cantidad de semilla cosechada es mayor que la capacidad de secamiento, es aconsejable utilizar un sistema pulmón de secamiento, que consiste en un arrume con un túnel en el centro a través del cual se sopla aire con un ventilador (Figura 7). Con este proceso, las semillas pueden mantenerse hasta una semana para después ser secadas en un secador convencional.

V. Acondicionamiento

Para limpiar, clasificar, dar buena apariencia, y proteger los lotes de semillas contra adversidades, se utilizan diferentes máquinas y operaciones en la UBS.

Máquina de Aire y Zarandas (MAZ)

Es la máquina básica de la UBS; muchos lotes quedan limpios y dentro de los estándares de calidad al pasar por la MAZ, sin requerir de operaciones adicionales. A continuación se presentan las principales características y aspectos que el operador de la UBS debe tener en cuenta.

Zarandas

Son la parte más importante de la máquina. Existen cuatro tipos, de acuerdo con la forma de las perforaciones de la zaranda, que son:

Perforaciones redondas

Se especifican por el diámetro del orificio, expresado en milímetros (sistema internacional) o en 1/64 o fracción de pulgada (sistema inglés). La Tabla 17 presenta las equivalencias en milímetros de varias fracciones de pulgada. Para convertir de pulgadas a milímetros se debe multiplicar el número de referencia de la zaranda por 25.4 y dividir el resultado por 64. Por ejemplo, el equivalente en milímetros de una zaranda No. 9 sería:

$$\frac{9 \times 25.4}{64} = 3.57 \text{ mm}$$

La zaranda de perforaciones redondas separa los materiales con base en diferencias de anchura; cuando la diferencia entre los materiales es muy grande, también puede hacer separaciones con base en diferencias de longitud. Esto es útil para operaciones de desbrozado, en las cuales se puede colocar una zaranda con perforaciones redondas de un diámetro equivalente a 2/3 de la longitud de la semilla, puesto que el material más largo (tallos, hojas) tiende a quedarse acostado (horizontal) y no pasa por los agujeros, mientras que la semilla y otros materiales más cortos sí caen por las perforaciones. Esta es la razón por la cual la primera zaranda de la máquina generalmente tiene perforaciones redondas para separar los desechos del cultivo tales como tallos, hojas y vainas.

Perforaciones oblongas

Se especifican en cualquiera de los sistemas de unidades por el ancho y la longitud de la perforación. Separan los materiales con base en diferencias de espesor; normalmente se usan estas zarandas para separar materiales más pequeños que la semilla, y en raras ocasiones para separar materiales más grandes. A diferencia de la zaranda de orificios redondos, las semillas largas pasan fácilmente a través de la zaranda de orificios oblongos. Las investigaciones han mostrado que son más eficientes las zarandas cuyas perforaciones oblongas están orientadas en el sentido del flujo de la semilla.

Perforaciones triangulares

Se especifican por la longitud de un lado del triángulo equilátero o por el diámetro del círculo inscrito en el triángulo. Estas zarandas son poco utilizadas; su uso más común es para separar los materiales pequeños en semillas de cebolla.

Mallas de alambre

Pueden ser de abertura cuadrada (tienden a separar por diferencias en anchura) o de abertura rectangular (tienden a separar por diferencias en espesor). Se especifican por el número de aberturas por pulgada bidireccional; o sea, que una zaranda 8 x 12 tiene ocho aberturas por pulgada en una dirección y doce aberturas por pulgada en la otra.

Para determinar el tamaño efectivo de las aberturas, se debe calcular la longitud de la diagonal del orificio. A continuación se muestra cómo hacer el cálculo para el caso de una zaranda 8 x 12 con alambre calibre 25.

$$\begin{aligned}
 1 \text{ pulgada} &= 25.4 \text{ mm} \\
 \text{Alambre 25} &= 0.45 \text{ mm de espesor} \\
 \text{Longitud del rectángulo (L)} &= 25.4 - (8 \times 0.45) \\
 &= 21.80/8 = 2.73 \text{ mm} \\
 \text{Anchura del rectángulo (A)} &= 25.4 - (12 \times 0.45) \\
 &= 20.0/12 = 1.67 \text{ mm} \\
 \text{Diagonal del rectángulo (D)} &= L^2 + A^2 \\
 &= 2.73^2 + 1.67^2 \\
 &= 10.24 = 3.20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Para calcular la abertura efectiva de la zaranda es necesario descontar 0.2 mm por cada extremo de la diagonal, pues el material o la semilla no llega hasta las esquinas. La abertura neta es:

$$3.20 - (0.2 \times 2) = 2.80 \text{ mm}$$

Así, una semilla que tenga una anchura superior a 2.80 mm no pasa por la abertura de la zaranda. La Tabla 18 presenta las equivalencias entre pulgadas y milímetros para las zarandas de malla. La Tabla 19 presenta los calibres para diferentes diámetros de alambre y diferentes espesores de láminas metálicas.

En comparación con las zarandas de lámina perforada, las de malla de alambre tienen el doble del área abierta; en ellas las semillas se exponen más a las aberturas debido a las pequeñas ondulaciones que se forman al entrelazarse los alambres de la malla.

Las dimensiones de la abertura cambian con el uso. Las zarandas, se desgastan, principalmente si la semilla que se está acondicionando es abrasiva (e.g. arroz); por tal razón, es aconsejable verificar periódicamente la dimensión de la abertura.

Las zarandas también se clasifican, de acuerdo con el trabajo que desempeñan, en desbrozadoras y clasificadoras. Se entiende por zaranda desbrozadora aquella cuyos orificios son de mayor dimensión que la semilla, la cual pasa fácilmente a través de la zaranda, mientras que retiene y separa el material de mayor dimensión que la semilla. Por su parte, la zaranda clasificadora tiene orificios más pequeños que la semilla, de modo que retiene la semilla y deja pasar el material indeseable.

La zaranda desbrozadora se coloca en la parte superior de la máquina. La semilla pasa a través de ella y cae en la zaranda clasificadora. El material indeseable más pequeño pasa a través de la zaranda clasificadora mientras que la semilla ya limpia pasa por encima de esta última zaranda (Figura 14).

Selección de la zaranda

Para hacer un buen trabajo, la MAZ sólo necesita de dos zarandas. Sin embargo, para aumentar la capacidad se utilizan normalmente cuatro zarandas (la primera y tercera desbrozadoras y la segunda y la cuarta clasificadoras). La zaranda con perforaciones más grandes se coloca de primera y la de perforaciones más pequeñas se coloca de segunda. Con este arreglo la semilla cae a través de la primera zaranda, pasa sobre la segunda, cae a través de la tercera, y pasa sobre la cuarta zaranda. Los contaminantes más grandes (hojas, tallos, vainas, piedras, tusas) quedan retenidos en la primera zaranda, y los más pequeños (polvo, tierra, granos partidos) se separan al pasar a través de la segunda.

Las semillas de un mismo lote varían en sus dimensiones. Por ejemplo, las semillas de arroz del grupo Patna varían en anchura desde 2.3 hasta 2.9 mm, en espesor desde 1.8 hasta 2.3 mm, y en longitud desde 7.5 hasta 10.5 mm; la anchura de las semillas de soya varía aún más, con diferencias hasta de 3 mm. En estos casos, se escoge una zaranda con perforaciones redondas con un diámetro que sea de 1 a 2 mm mayor que la anchura de la semilla más grande del lote, mientras que la zaranda de perforaciones oblongas requiere que haya una diferencia de sólo 0.1 mm para separar la semilla.

Esta variación en las dimensiones se presenta no sólo entre cultivares sino también entre lotes, siendo necesario seleccionar las zarandas para cada lote; esta selección se puede realizar utilizando:

Zarandas manuales

Es muy conveniente tener en la UBS zarandas pequeñas (20 x 20 cm) de la misma clase y tamaño de perforación que las disponibles para la MAZ. Con una muestra del lote se ensayan varias de estas zarandas manuales hasta determinar cuál de ellas deja pasar o retiene más fácilmente las semillas. Para estas pruebas se requiere tener el conjunto completo de zarandas pequeñas.

Calibrador

Se sacan 25 semillas y 25 materiales indeseables de la muestra del lote y se les mide la anchura y el espesor; con base en estas dimensiones y considerando la necesidad de descarte, se selecciona la zaranda. Este método es más difícil pero más preciso que el de las zarandas manuales. Si la separación se hace difícil, es más apropiado el método del calibrador.

Para la correcta selección de las zarandas, el operador debe conocer el flujo de las semillas a través de la máquina. Como se ha visto, es necesario determinar cuáles zarandas se van a utilizar para cada lote. Por lo tanto, es de suma importancia tener tantas zarandas para la MAZ como sea posible, pues permiten hacer un mejor trabajo de clasificación. En la Tabla 20 se presenta una lista de las dimensiones de las zarandas que se pueden usar en la MAZ para el acondicionamiento de algunos cultivos. Esta Tabla y otras

similares sirven sólo de guía ya que cada lote requiere ser considerado como un caso independiente.

EJEMPLO: Si se clasifica semilla de arroz en una máquina de cuatro zarandas (la primera de perforaciones redondas de 5.0 mm, y las restantes de perforaciones oblongas de 1.6 x 19.0 mm, 2.4 x 19.0 mm, y 1.7 x 19.0 mm) ¿cuál será el espesor y la anchura de la semilla de arroz?

La primera conclusión es que la semilla debe tener una anchura inferior a los 5.0 mm de diámetro para haber caído a través de la primera zaranda. Segundo, que el espesor debe estar entre 1.7 y 2.4 mm, para que la semilla haya pasado a través de la segunda zaranda y se haya quedado encima de la cuarta zaranda.

Técnicas especiales

Las principales técnicas especiales utilizadas para cultivos específicos en el manejo de la MAZ son:

- a. Se coloca una tira de tela o carpa sobre las zarandas desbrozadoras de tal forma que aquellas semillas que ruedan con facilidad (e.g., soya) se deslicen despacio entre la zaranda y la cobertura.
- b. Se usan martillos para golpear y mantener limpias las zarandas.
- c. En las MAZ en las que la primera zaranda (de orificios redondos) es larga, permitiendo que todas las semillas pasen a través de los orificios de la primera mitad de la zaranda, se cubren con plástico o cartón las perforaciones de la otra mitad

para evitar que los restos de cultivo, principalmente tallos, que estén acostados (horizontales), pasen a través de los orificios. Esta técnica se usa con frecuencia para acondicionamiento de arroz, trigo, y cebada.

- d. Cuando se acondicionan semillas cuya longitud es tres veces su anchura, se observa que difícilmente las semillas quedan "de pie" con el movimiento y por tanto no pueden pasar a través de las perforaciones. Esto se soluciona utilizando zarandas onduladas (Figura 15). Las ondulaciones tienen 2.6 cm de altura y 5.4 cm de base. Esta zaranda no es difícil de fabricar, aunque en algunos modelos de MAZ la armazón tiene que ser especial. Es importante destacar que la zaranda ondulada reduce la capacidad de la máquina en un 30% y se necesitan pelotitas de caucho para limpiar las zarandas, pues el sistema de cepillos o el de rodillos no funcionan con este tipo de zarandas.
- e. En algunos casos es conveniente colocar pequeños listones de madera a lo ancho de toda la zaranda, de tal forma que el material pase por encima de ellos. Esto hace que el material dé la vuelta y haya mayor oportunidad para que la fracción que se desea pase a través de las perforaciones. Se pueden colocar varios de estos listones en la zaranda. El espesor y la anchura deben ser el doble de las dimensiones de la semilla que se está limpiando.

Ejemplos de separación

La MAZ, además de separar diversos materiales físicamente diferentes a la semilla, se usa también para retirar del lote otros materiales indeseables, entre los cuales se destacan:

Soya partida por la mitad

Este material se diferencia por su espesor; por lo tanto se utilizan zarandas clasificadoras de perforaciones oblongas normalmente ubicadas en las posiciones 2a. y 4a. Las semillas de soya varían mucho en tamaño entre variedades y entre lotes; es aconsejable que la UBS tenga ocho zarandas de orificios oblongos desde 3.00 x 19 mm hasta 4.50 x 19 mm con intervalos de 0.25 mm entre ellas.

Arroz descascarado

Su anchura y espesor son diferentes a las dimensiones del arroz con cáscara, especialmente la anchura; sin embargo, es más fácil separarlo por su espesor con una zaranda de orificios oblongos debido a la orientación de la semilla al pasar sobre la zaranda. Es difícil separar todo el arroz descascarado presente en un lote, por lo cual en algunos países existen límites máximos permitidos. Para lograr la mejor separación posible, es recomendable utilizar una zaranda de orificios oblongos como primera zaranda clasificadora y una redonda ondulada como segunda zaranda clasificadora (ésto para el caso de una máquina de cuatro zarandas).

El arroz descascarado también tiene una longitud diferente a la del arroz con cáscara, por lo cual se

puede ayudar a desechar utilizando separadores de longitud, como el de cilindro indentado (ver p. 76) y el de discos (ver p. 78). Además, el arroz descascarado tiene mayor peso volumétrico que el arroz con cáscara, por lo cual se separa buena parte en la mesa de gravedad.

El arroz también varía mucho de tamaño entre variedades y entre lotes; sin embargo, para las variedades del grupo Patna se recomienda que la UBS tenga las siguientes zarandas para separar el arroz descascarado: oblongas de 1.4 x 19.0 mm hasta 1.9 x 19.0 mm con intervalos de 0.1 mm y redondas onduladas de 2.3, 2.4, y 2.5 mm de diámetro.

Arroz rojo

El control de arroz rojo se debe hacer en el campo; pero cuando no hay otra alternativa se puede separar gran parte de la semilla de arroz rojo en la MAZ, siempre y cuando existan diferencias en alguna de sus propiedades físicas, en relación con la semilla deseada. Por ejemplo, la semilla de arroz del grupo Patna tiene una anchura menor a los 3 mm, mientras que hay variedades de arroz rojo con anchuras mayores a los 3 mm. A pesar de esta diferencia, la separación de los dos tipos de semilla se dificulta porque en las zarandas planas el grano se mantiene horizontal y no alcanza a caer verticalmente por las perforaciones. Por lo tanto, se recomienda usar zarandas cilíndricas con perforaciones redondas de 3 mm de diámetro, o zarandas onduladas con perforaciones del mismo diámetro (Figura 15). Así la semilla de arroz queda inclinada o vertical y cae a través de los orificios. En una máquina de cuatro zarandas, la ondu-

lada se coloca en tercer lugar, como segunda desbrozadora.

Maíz partido

Se utiliza la zaranda de 6.75 mm para separar las semillas partidas.

Clasificación del maíz

Después de limpiar el maíz, muchas empresas clasifican las semillas de acuerdo con su anchura, espesor y, algunas veces, su longitud. Para hacer la clasificación en la MAZ, una de las alternativas de disposición de las zarandas es la siguiente:

1. Zaranda de 5.36 x 19.00 mm (13.5 x 3/4") para separar la semilla plana de la redonda.
2. Zaranda de 6.75 mm de diámetro (17/64") para separar la semilla partida.
3. Zaranda de 9.50 mm de diámetro (24/64") que separa la fracción de grano plano grande.
4. Zaranda de 8.00 mm de diámetro (20/64") que separa las fracciones de grano plano de tamaños mediano y pequeño.

Sorgo partido

Para separar las semillas partidas de sorgo, es conveniente ensayar una zaranda de perforaciones redondas en vez de oblongas, pues algunas semillas al partirse cambian de anchura mas no de espesor.

Limpieza de las zarandas

La eficiencia de operación de las zarandas depende de que toda el área de la perforación esté libre; por lo tanto, se deben revisar constantemente para detectar si los orificios se han tapado. Este problema se presenta sobre todo con las zarandas onduladas de malla de alambre y en el acondicionamiento de semillas de arroz.

Ajustes y operaciones

A continuación presentamos algunos procedimientos que se deben tener en cuenta.

- a. Antes de iniciar cualquier operación camine alrededor de la máquina para asegurarse de que todo está en orden.
- b. Limpie cuidadosamente la máquina antes de empezar cualquier trabajo.
- c. Seleccione cuidadosamente y coloque adecuadamente las zarandas.
- d. Ajuste los cepillos y conecte el martillo (si es el caso).
- e. Cierre la alimentación y los ventiladores (cuando sea posible).
- f. Ponga en funcionamiento la máquina.
- g. Abra despacio la alimentación.
- h. Ajuste el aire superior.

- i. Ajuste el aire inferior de modo que levante sólo algunas semillas buenas.
- j. Revise las diferentes fracciones para verificar eficacia y eficiencia de la operación. Si es necesario cambie zarandas.

Eficiencia

La MAZ debe trabajar siempre a su capacidad máxima pues los gastos de energía y del equipo son fijos. La capacidad depende principalmente de la semilla con que se trabaja, del número de zarandas de la MAZ, del tamaño general de las zarandas, y del tamaño de los orificios de cada zaranda. Con relación a la producción de la MAZ, se puede asumir que por cada metro cuadrado de zaranda clasificadora es posible limpiar 500 kg de semilla de soya/h y 300 kg de semilla de arroz/h.

Se dice que la máquina es eficaz cuando tiene la capacidad de hacer la operación deseada; en este caso, una MAZ es eficaz si la semilla sale de la máquina con un mínimo de contaminación. Por otro lado, se dice que la máquina es eficiente si puede hacer la operación deseada con el mínimo de pérdidas; en este caso una MAZ es eficiente si hay pocas semillas en la fracción descartada. El rendimiento es el porcentaje de semilla obtenido, mientras que la capacidad, o producción de la máquina, se refiere a la cantidad de trabajo que puede hacer en cierto período de tiempo (en este caso, kg/h). Con base en estos términos, lo que se busca en el beneficio de semillas es utilizar la máquina más eficaz con la máxima eficiencia, rendimiento, y capacidad.

Normalmente se determina la eficacia, eficiencia, rendimiento y capacidad de la máquina recogiendo muestras durante 15-20 segundos de las semillas limpias y de las demás fracciones que salen de la máquina; este procedimiento se repite 2 ó 3 veces. Se hace esta operación una vez durante el acondicionamiento para efectuar ajustes y al final del acondicionamiento del lote.

El cálculo que aparece en el cuadro siguiente indica que hay una pérdida del 9.09% cuando la semilla se acondiciona en la MAZ; es probable que el aire inferior y el superior estén muy fuertes, levantando mucha semilla buena. Además de verificar el porcentaje de pérdidas, se hace un análisis rudimentario de la pureza de las semillas limpias (eficacia) y de la cantidad de semilla buena que está siendo rechazada (eficiencia). Con estos datos también es posible calcular la producción de la máquina y el rendimiento del proceso.

Producto	Peso (kg)	Porcentaje
Semilla limpia	10.00	90.91
Material rechazado:		
- por encima de la 1a. zaranda	0.02	0.18
- a través de la 2a. zaranda	0.20	1.82
- por encima de la 3a. zaranda	0.03	0.27
- a través de la 4a. zaranda	0.20	1.82
- aire inferior	0.30	2.73
- aire superior	<u>0.25</u>	<u>2.27</u>
Total =	11.00	100.00

Si los 11 kg de muestra en el ejemplo se recogieron en 20 segundos, se puede calcular la producción o capacidad así:

$$\frac{11 \times 3,600}{20} = 1,980 \text{ kg/h}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{10 \times 100}{11} = 90.9\%$$

Al final del acondicionamiento se pesan los rechazos y por diferencia se determina el peso de la semilla limpia. Estos datos se deben registrar en la ficha de acondicionamiento.

Algunas recomendaciones específicas

- a. La máquina se debe trabajar a capacidad máxima siempre que sea posible.
- b. La tolva de la MAZ debe tener capacidad suficiente para trabajar ininterrumpidamente al menos durante 1 hora.
- c. Revisar el estado del sistema de limpieza de zarandas, ya sean cepillos, rodillos, o bolas de caucho.
- d. Revisar el estado de las zarandas.
- e. Hacer mantenimiento general a la máquina.
- f. Revisar el estado y ajuste del alimentador.
- g. Llevar un registro de las zarandas utilizadas para cada lote.

- h. Si el lote se va a pasar por la mesa de gravedad, no es necesario usar ventilación de aire muy fuerte.
- i. Decidir si se van a mezclar los rechazos de la 2a. y 4a. zarandas.

Instalación

Debido a la vibración de la máquina, ésta se debe anclar firmemente al piso, especialmente aquellas que no están dinámicamente bien balanceadas. Generalmente la MAZ se instala sobre un soporte que puede ser construido en ángulo de hierro, teniendo cuidado de que sea firme y permita la limpieza.

La salida de aire de los ventiladores, así como la recolección del polvo que este aire retira del lote, es extremadamente importante para la operación eficiente de la máquina. Para disminuir las pérdidas de presión del aire, los ductos de salida de aire no deben ser estrechos ni tener curvas cerradas o tramos demasiado largos.

La máquina se debe instalar de forma que haya espacio suficiente para trabajar alrededor de ella, para remover las fracciones descartadas, para hacer la limpieza e inspección, para cambiar las zarandas, o para hacer el mantenimiento y las reparaciones. Es conveniente instalar un horómetro que indique las horas de operación de la máquina; ésto facilita la programación del mantenimiento y permite calcular la producción de la máquina.

Debe colocarse una tarima con escaleras alrededor de la MAZ para facilitar las labores de calibración, inspección, limpieza, y mantenimiento.

Mesa de Gravedad o Separador por Peso Específico

La mesa de gravedad se debe ubicar siempre en el lugar donde finaliza el flujo de la semilla a través de la planta, pero antes de la tratadora. Debido a la estrecha relación entre el peso volumétrico de las semillas y su calidad fisiológica, la mesa de gravedad es la máquina que, además de limpiar el lote, puede mejorar su calidad fisiológica mediante la separación de las semillas o materiales de menor peso específico.

Ajustes

La mesa de gravedad es difícil de calibrar por la interacción entre los diversos ajustes (Figura 16); sin embargo, el conocimiento de los principios de funcionamiento de la máquina y del material indeseable facilita el proceso. Los siguientes son algunos procedimientos útiles:

- a. Haga un solo ajuste a la vez y espere hasta ver el resultado antes de proceder a hacer otro cambio.
- b. Si la separación entre las fracciones pesada y liviana no es buena, se debe juntar la semilla en un lado de la plataforma y luego hacer ajustes hasta que las semillas se vuelvan a esparcir en toda la plataforma.
- c. No olvide que los ajustes principales son el aire, la inclinación lateral, la velocidad de vibración, y la tasa de alimentación.
- d. Verifique que no se haya obstruido la compuerta del aire, que no esté patinando la correa del mo-

tor, y que el sentido de rotación de los ventiladores sea correcto.

- e. Revise los filtros de aire y la parte interior de la máquina para verificar que no hay obstrucciones.
- f. Asegúrese de que la máquina esté bien anclada al piso.
- g. Calibre primero la máquina antes de operarla a máxima capacidad.

Se puede mejorar la calidad de prácticamente todos los lotes de semillas de casi todas las especies (trigo, sorgo, soya, arroz, maíz, forrajeras, y semillas de hortalizas) al pasarlos por la mesa de gravedad, la cual separa las semillas enfermas, mal formadas, descascaradas, vanas, dañadas, o con glumas, de las semillas de buena calidad con mayor peso volumétrico.

La separación por peso volumétrico de lotes pequeños de semillas (forrajeras, hortalizas, semilla genética), también se puede realizar colocando las semillas en agua o en soluciones con diferentes gravedades específicas. Las semillas de menor peso específico flotan en el líquido y las de mayor peso específico se hunden. Este método de separación es más preciso que el de la mesa de gravedad pero tiene el inconveniente de que las semillas se humedecen y es necesario secarlas; además no es práctico para cantidades grandes de semillas.

Eficiencia

La capacidad o producción de la mesa se puede estimar en ± 700 kg/h por cada metro cuadrado de plataforma. Para determinar la eficiencia y eficacia de la

separación, se divide la parte final de la plataforma en tres partes (no necesariamente iguales), una para cada una de las fracciones obtenidas: una fracción pesada que supuestamente contiene semillas de mayor peso volumétrico, una fracción intermedia con semillas y algún material indeseable, y otra fracción, la más liviana, donde se concentra el material de menor peso volumétrico. Se recoge una muestra de cada una de las tres fracciones durante 30 segundos y se determina el porcentaje de cada fracción, así como el grado de separación del material indeseable.

Se deben medir también los pesos volumétricos de la fracción pesada y de la fracción liviana; si la máquina está bien calibrada estos dos valores deben tener una diferencia del 7% o más. Si la diferencia es menor, quiere decir que el lote es tan homogéneo que no es posible mejorarlo o que la máquina no está bien calibrada. En cualquier caso, es preferible no pasar el lote por la mesa de gravedad. En cambio, la mesa de gravedad es muy necesaria en la separación de lotes de semillas de *Brachiaria*, los cuales contienen mucha semilla vana que la MAZ no separa fácilmente y en los que se encuentran diferencias hasta del 70% entre el peso volumétrico de la fracción pesada y el de la fracción liviana.

Para determinar el peso volumétrico se necesita una balanza y un recipiente rígido. Una vez tomadas las muestras, se llena el recipiente con las semillas de la muestra hasta que rebase, se envasa, se pesa, y se repite el procedimiento con cada fracción.

Para determinar la diferencia porcentual entre los dos pesos volumétricos, basta dividir la diferencia entre

los dos pesos por el peso de la fracción más pesada y multiplicar por 100.

Por ejemplo, si la fracción pesada y liviana pesaron respectivamente 127.4 y 116.7 g, la diferencia (%) entre las fracciones será:

$$\frac{127.4 - 116.7}{127.4} \times 100 = 8.4\%$$

Puesto que se usa el mismo recipiente para las dos muestras, no es necesario calcular el volumen ni el peso de éste.

Se debe calcular también el porcentaje del lote que está siendo rechazado, es decir la fracción liviana. Se estima que este rechazo no debe ser mayor al 7% de la semilla que está entrando a la máquina. Para un lote de buena calidad y buena apariencia, se debe regular el descarte para que no exceda este límite. Si la calidad del lote no es buena, se puede fijar el porcentaje de rechazo observando la apariencia de la semilla y colocando el separador en el punto que permita separar el material bueno del que se quiere descartar.

Cilindro Separador o Cilindro Indentado

Este es un equipo que separa con base en diferencias de longitud. No hace un trabajo muy preciso; sin embargo es útil especialmente con semilla de arroz, en cuyo caso se usa para separar la semilla de los granos partidos o pelados. Un cilindro de 2 m de longitud tiene una capacidad máxima de separar 1 t/h.

El cilindro se usa comunmente para separar semilla de arroz y trigo partida por la mitad, pues la anchura y espesor se mantienen iguales. Algunas empresas de semillas también clasifican el maíz por longitud, utilizando el cilindro separador.

Operación

Las dimensiones del cilindro se dan con base en la anchura del alvéolo (cónico o semiesférico), expresada en milímetros o en 1/64 de pulgada. Si el alvéolo es cónico la altura del cono debe ser por lo menos 5/8 de la longitud del material que va a separar para que pueda extraerlo de la masa de semilla; así, si el material que se desea levantar tiene 8 mm de longitud, la altura del cono debe ser por lo menos de 5 mm. Si el alvéolo es semiesférico, su diámetro debe ser 5/4 veces la longitud del material; en nuestro ejemplo, el diámetro mínimo sería 10 mm (26/64 de pulgada). La Tabla 21 presenta las dimensiones de las indentaciones de los cilindros utilizados para varios cultivos.

Al hacer las separaciones, con frecuencia se presentan dos situaciones:

- a. El material escogido (semilla de grano largo) se levanta con el material descartado (semilla de grano corto). Esto se puede corregir con uno de los siguientes ajustes:
 1. Usar un cilindro de alvéolos más pequeños.
 2. Aumentar el ángulo de inclinación de la bandeja interna.
 3. Disminuir la tasa de alimentación.

4. Disminuir la velocidad de rotación del cilindro (si es posible).
- b. El material de desecho (corto) se queda en la masa de semillas (largo). Esto se puede corregir con uno de los siguientes ajustes:
1. Usar un cilindro de alvéolos más grandes.
 2. Disminuir el ángulo de inclinación de la bandeja interna.
 3. Disminuir la tasa de alimentación.
 4. Aumentar la velocidad de rotación del cilindro (si es posible).

Eficiencia

Normalmente se utilizan dos cilindros en paralelo para acompañar el trabajo de la MAZ. Como el cilindro tiene solamente dos salidas es fácil determinar la eficacia, la eficiencia, y el rendimiento de la máquina. Para determinar la eficiencia de la separación se recoge una muestra durante 15 a 20 seg del material que se está levantando en los últimos 15 cm del cilindro, que es el sitio donde se hace la separación final. Cuando el porcentaje obtenido para esta fracción es superior al 2% del total del lote, es probable que se esté rechazando mucha semilla buena. Los resultados porcentuales de las fracciones se deben registrar en el reporte de beneficio.

Separador de Disco

Se utiliza para hacer separaciones por longitud. En comparación con el cilindro indentado, este separador

es poco utilizado en América Latina, debido principalmente a problemas de distribución y precio, y no a la calidad de la separación.

Operación

Normalmente se colocan más de veinte discos en un eje común que gira a una velocidad constante de 45 rpm, lo cual aumenta su rendimiento. Los bolsillos o alvéolos de los discos se especifican con letras y números para cada cultivo (Tabla 22).

Eficiencia

Es similar a la del cilindro, con la diferencia de que puede separar más de una fracción de materiales cortos. Como el separador de disco trabaja mucho con semilla de arroz (que es abrasiva), es necesario revisar frecuentemente los discos para verificar el desgaste. Los discos o cilindros desgastados no hacen una buena separación.

Separador de Espiral

Se utiliza principalmente con semillas de soya. Es una máquina en la que cada caracol generalmente tiene cuatro espirales internos y cada uno puede limpiar 100 kg/h. El separador de espiral es una máquina sencilla; el único ajuste necesario es controlar la tasa de alimentación. Uno de los pocos problemas se presenta al separar semillas de variedades ovaladas (e.g., soya, variedad Davis) o semillas pequeñas (13 semillas/g) porque la máquina llega a rechazar hasta un 30% del material. Para minimizar este problema se tienen dos alternativas:

- a. Como el espiral no es una máquina precisa, se recomienda volver a pasar el material rechazado para recuperar parte de la semilla buena.
- b. Utilizar un espiral cuyos espirales internos sean menos anchos (14-15 cm) y, en caso de necesitar unos más anchos, colocar retardadores que garantizan el mismo efecto.

Otro inconveniente del separador de espiral es el ruido que genera durante la separación; para disminuirlo se pueden colocar los caracoles dentro de una caja

Separador por Anchura y Espesor o Separador de Zaranda Cilíndrica

Se utiliza principalmente para clasificar semilla de maíz, soya, y maní por tamaños cuando se va a sembrar con sembradora de platos. Algunas empresas de semillas también distribuyen los platos junto con la semilla para tener la certeza de que su semilla quedará bien sembrada. Hay sembradoras modernas que trabajan con semillas sin clasificar, pero la gran mayoría aún necesita que estén clasificadas.

Operación

Después de haber limpiado las semillas en la MAZ este separador clasifica las semillas en planas y redondas utilizando una zaranda de perforaciones oblongas de 5.2 mm de ancho o una de 5.4 ó 5.6 mm (13/64", 13.5/64", 14/64"). Las semillas planas caen a través de la zaranda y las redondas continúan hasta la descarga al final del cilindro. Posteriormente se

utilizan zarandas cilíndricas con orificios redondos de 7 a 9.5 mm (18/64 hasta 24/64 de pulgada) colocadas en serie o repasando la semilla a través de las zarandas de diferentes orificios, para obtener las fracciones grande, mediana, y pequeña de la semilla plana.

Otra forma de hacer la clasificación, que en algunos casos puede requerir menor cantidad de zarandas que el método anterior, consiste en separar primero con orificios redondos las fracciones grande, mediana, y pequeña y dividir posteriormente cada una de estas en planas y redondas. Es conveniente conocer la proporción del lote que representa cada una de estas fracciones de las variedades e híbridos que llegan a la UBS, para determinar de antemano la forma más conveniente de organizar las zarandas y el flujo de las diferentes fracciones.

La clasificación con el separador de zaranda cilíndrica requiere varias tolvas para el almacenamiento temporal de las diversas fracciones del lote, pues las fases subsiguientes de acondicionamiento normalmente se hacen con una fracción a la vez.

La clasificación permite imprimir en la bolsa el número de semillas por gramo y por clase de semilla. Mientras que las semillas se sigan vendiendo por peso y se sigan sembrando por número, saldrá ganancioso el agricultor que sepa que una semilla pequeña germina tan bien como una semilla grande.

Eficiencia

La eficiencia de la separación se determina por el porcentaje de semilla pequeña de una clase determinada de semillas que se "cuela" por la zaranda; por ejem-

plo, se permite hasta un 3% de semillas con anchura menor de 8.7 mm (22/64") en la clase 8.7 - 9.5 mm (22/64" - 24/64"). La denominación de las clases varía mucho entre las empresas de semillas, sin embargo, cuando se dice que una semilla es "zaranda" 8.7 (22/64") significa que no pasó por la zaranda de 8.7 mm sino a través de la de 9.5 mm (24/64").

Algunas veces se utilizan zarandas cilíndricas para limpiar la semilla, empleando zarandas desbrozadoras y clasificadoras, y posteriormente se hace la clasificación. Sin embargo, esta limpieza debe complementarse con la limpieza por aire, usando cualquiera de los equipos que separan materiales indeseables con base en la diferencia en el peso. El único ajuste necesario en la zaranda cilíndrica al utilizarla como limpiadora es la regulación de la alimentación la cual no debe ser excesiva.

Tratadoras

Se utilizan para tratar la semilla con productos químicos que la protegen contra hongos, bacterias, insectos, y otras plagas.

Debido a problemas de toxicidad y de manejo con los productos en polvo, las tratadoras que utilizan líquidos o polvos mojables son ahora las más comunes.

La máquina se debe instalar a nivel y de forma que las semillas puedan fluir por la planta de beneficio, pasando o no a través de la tratadora. (Para lotes pequeños es posible construir una tratadora tal como la que aparece en la Figura 17.)

Operación

Normalmente las máquinas tienen dos ajustes.

- a. La cantidad de producto químico que se aplica por golpe, la cual se puede variar cambiando las cucharas.
- b. La cantidad de semilla que se va a tratar por golpe, la cual se regula ajustando el contrapeso.

Se debe aplicar la dosis adecuada de producto con la cantidad adecuada de agua. Si la cantidad de agua utilizada es insuficiente, la solución no se podrá aplicar uniformemente; si la cantidad de agua es excesiva, tampoco se logrará una aplicación uniforme y además se humedece demasiado la semilla. La cantidad de agua depende del área superficial de las semillas, determinada por el número de semillas/kg; en un lote de semillas con el mismo peso, las semillas más pequeñas tendrán más área superficial que las semillas más grandes, pues hay mayor número de semillas pequeñas por unidad de peso. Por esta razón, por ejemplo, para tratar frijol sólo se necesitan 3 litros de solución o mezcla/tonelada de semilla, para tratar soya y maíz se necesitan 5 litros/t, y para sorgo y arroz 8 litros/t. El operador de la UBS debe determinar la cantidad de agua que necesita para los diferentes cultivos y variedades con los que trabaja.

Generalmente, como el producto se aplica en forma líquida, las dosis se expresan en litros de producto/tonelada de semilla o su equivalente en mililitros o centímetros cúbicos de solución/kilogramo de semilla. Una vez se han determinado los productos, las dosis, y la cantidad de semilla a tratar, se mezclan las

proporciones adecuadas con un poco de agua y se continúa añadiendo agua hasta que se complete el volumen de solución requerido. Es conveniente preparar sólo el producto que se va a utilizar en cada aplicación.

Una vez preparada la solución, se debe calibrar la tratadora.

Si se desea tratar semilla de soya, por ejemplo, y la dosis de solución es de 5 ml/kg de semilla, los pasos a seguir son:

1. Desconectar la manguera que descarga el producto en las semillas y colocar el extremo en una probeta graduada.
2. Llenar los depósitos del producto y de la semilla.
3. Colocar las cucharas y asegurar el contrapeso.
4. Dejar funcionar la máquina durante un número de golpes suficientes hasta que se normalicen los flujos de producto y semilla.
5. Recolectar simultáneamente la cantidad de producto (ml) y la cantidad (kg) de semilla que fluyen en determinado número de golpes.
6. Dividir los mililitros de producto entre los kilogramos de semilla para obtener ml/kg.
7. Si el resultado está muy por encima o muy por debajo de lo requerido, proceda a cambiar cucharas antes de ajustar el contrapeso, pues éste se utiliza para hacer ajustes pequeños. Por ejemplo, si el resultado da 20 ml/kg y se desea aplicar 5 ml/kg, se debe colocar una cuchara más

pequeña pues se necesita aplicar menos líquido por kilogramo de semilla.

8. Después de cambiar las cucharas (si ha sido necesario), repita los pasos 5, 6, y 7. Tan pronto como el resultado obtenido esté cerca al requerido, mueva el contrapeso, hacia arriba para aumentar la cantidad de semilla y hacia abajo para disminuirla. Por ejemplo, si el resultado es 4.8ml/kg y necesita aplicar 5 ml/kg, debe disminuir la cantidad de semilla; es decir, debe bajar un poco el contrapeso.
9. Regresar a los pasos 5, 6, y 8 hasta lograr la dosis deseada. Es conveniente llevar registros de las dosis, las cucharas, los ajustes, los productos, y las cantidades utilizadas para cada lote; así se tendrán antecedentes para calibrar más rápidamente en el futuro.

Eficiencia

Es recomendable tomar muestras a intervalos regulares para saber si la semilla está quedando bien cubierta con el producto y si hay uniformidad en su aplicación. Al final de la aplicación se toma una muestra para determinar la efectividad del tratamiento a través de una prueba sencilla de sanidad. La producción de la máquina (kg/h) se puede aumentar o disminuir abriendo o cerrando la compuerta de la tolva que alimenta la máquina. Nótese que este ajuste no tiene ningún efecto sobre la calibración de la máquina y no altera la dosis de producto que se está aplicando.

Protección

Es altamente recomendable que la persona que esté operando la tratadora utilice equipo de protección, como respiradores y guantes largos. Si la ventilación natural no es suficiente, es necesario instalar extractores de aire (tal vez un sistema de filtros) que mantengan el área libre de sustancias tóxicas.

Otras indicaciones

- a. La solución se debe agitar constantemente.
- b. La bomba necesita mantenimiento constante debido a la naturaleza de los productos.
- c. La última semilla que se queda en la báscula se debe descargar manualmente.
- d. Se debe drenar y secar el depósito y el tanque.
- e. Un poco de dedicación en la limpieza y la protección de la tratadora antes de guardarla aumenta mucho su vida útil.

Selección

Se requiere conocer algunas características del equipo:

- a. Para uniformidad de la aplicación, se debe revisar si la mezcladora es mecánica o utiliza un sistema de atomización.
- b. Las tratadoras que aplican el producto en polvo no son muy eficientes y presentan problemas de contaminación a los operarios.

- c. Se debe tener en cuenta el material del cual está fabricada la tratadora para evitar problemas de durabilidad.

Transportadores

Los dos problemas principales asociados con el transporte de semilla son: el daño mecánico y la mezcla varietal.

Las semillas se movilizan en la UBS entre operaciones, utilizando varios tipos de transporte:

Elevadores de cangilones

Las características principales que se deben observar son las siguientes:

Condiciones de operación

El elevador debe tener una capacidad un poco mayor que la de la máquina que alimenta o que lo alimenta; ésto con el fin de evitar que los elevadores sean el cuello de botella en el funcionamiento de la planta.

En un elevador de cangilones por descarga centrífuga, si la velocidad de la banda es muy alta, la semilla no es descargada sino arrojada de los cangilones, golpeándose con la cubierta de la cabeza del elevador, sufriendo el consiguiente daño mecánico. Por el contrario, si la velocidad de la banda es muy baja, la semilla no es descargada con suficiente fuerza, no alcanza a llegar al tubo de descarga y cae por la pierna de descenso, con el correspondiente daño mecánico y merma en la capacidad del elevador.

Para que la descarga sea suave es necesario que la fuerza centrífuga, al momento de descarga, se equilibre con la fuerza de gravedad. Este equilibrio se logra cuando se cumplen las siguientes igualdades:

$$\begin{aligned}V &= ND/19.10 \\D &= 1787.3/N^2 \\V^2 &= 4.90 D\end{aligned}$$

donde:

- V = Velocidad (m/seg) de la banda
- D = Diámetro (m) de la polea motriz del elevador
- N = Velocidad (rpm) de la polea motriz del elevador

Estas tres igualdades están relacionadas entre sí; conociendo una de las variables, se pueden calcular las otras dos. Siguiendo este procedimiento, se han calculado los valores de la Tabla 23, la cual muestra diferentes velocidades para la polea (N) y la correspondiente velocidad de la banda (V) para poleas de diferente diámetro (D). Si cambia el valor de cualquiera de las tres variables, deben cambiar también las otras dos para mantener la relación que garantiza la adecuada operación del elevador.

Por ejemplo, si la polea motriz del elevador tiene 0.25 m de diámetro (10 pulgadas), la Tabla indica que ésta debe girar a 85 rpm y en consecuencia la velocidad de la banda será igual a 1.11 m/seg.

Si se desea aumentar la capacidad del elevador acelerando la banda, es necesario cambiar también la polea para lograr que la semilla descargue suave-

mente. Es preferible seleccionar velocidades de banda no muy altas para evitar daños a la semilla al ser recogida por los cangilones.

Para obtener la velocidad de rotación necesaria en la polea motriz del elevador, se deben colocar poleas intermedias o motoredutores que disminuyan la velocidad de rotación del motor (generalmente es de 1725 rpm). Esto se puede hacer utilizando la siguiente igualdad:

$$D_1 N_1 = D_2 N_2$$

donde:

D_1	=	Diámetro de la polea de la banda
N_1	=	Velocidad de la polea de la banda
D_2	=	Diámetro de la polea del motor
N_2	=	Velocidad de la polea del motor

Si siguiendo con el ejemplo, si se tiene un motor que gira a 1725 rpm, el diámetro de la polea del motor para que la polea de la banda gire a 85 rpm será el siguiente:

D_1	=	0.25 m
V_1	=	85 rpm
V_2	=	1725 rpm

$$D_2 = \frac{D_1 V_1}{V_2} = \frac{0.25 \times 85}{1725}$$

$$D_2 = 0.012 \text{ m}$$

En este caso, considerando la gran diferencia de velocidades entre las dos poleas, se obtiene un diámetro para la polea del motor que es demasiado pequeño para ser utilizado. Este problema se resuelve utili-

zando poleas intermedias, las cuales se calculan de igual forma que en el ejemplo anterior. Se debe tener en cuenta que la velocidad del motor y la velocidad y el diámetro de la polea son fijos, y si se alteran se afectarían las condiciones de operación del elevador.

A continuación se ilustra cómo calcular la capacidad de un elevador con las siguientes características:

Diámetro de la polea superior	D =	0.20 m
Velocidad de la polea superior	N =	95 rpm
Distancia entre cangilones	d =	0.2 m
Volumen del cangilón	q =	400 cm ³ = 0.0004 m ³
Peso volumétrico de la semilla	p =	770 kg/m ³
Eficiencia del elevador	e =	70%
Velocidad de la banda	V =	DN 60 = 93.58/N = 93.58/95 = 0.99 m/seg
Número de cangilones/m de banda	C =	1/d = 1/0.2 = 5
Peso de semilla por cangilón	P =	q x p x e = 0.0004 x 770 x 0.7 = 0.22 kg/ cangilón
Capacidad del elevador	Q =	P x C x V = 0.22 x 5 x 0.99 = 1.09 kg/seg = 3920 kg/h

No se debe olvidar que las semillas son organismos vivos que pueden sufrir daño mecánico, especialmente las de algunas especies. Por lo tanto, se de-

ben trasportar suavemente evitando que se golpeen contra superficies metálicas. En los elevadores, el daño mecánico ocurre generalmente en la base y en la cabeza del elevador.

Si se observan superficies pulidas en la cubierta de la cabeza del elevador o en la base del mismo, es una buena indicación de que la semilla está golpeando esas superficies, con el consiguiente daño mecánico. Esto se puede corregir, verificando que la velocidad de la banda esté dentro del rango recomendado.

Otro daño mecánico relacionado con el transportador puede ocurrir en el tubo de descarga donde las semillas pueden adquirir una velocidad muy alta y sufrir daños al momento de caer en la tolva; por lo tanto, es conveniente tener un amortiguador de línea para caídas de más de 3 m. En este caso también es conveniente instalar un amortiguador final.

Mezcla varietal

Es muy frecuente que los elevadores sean responsables de que se presenten mezclas varietales; para evitarlo se debe prestar mucha atención a las siguientes partes de los elevadores:

Detrás de los cangilones. En el momento de dar la vuelta en el pie del elevador los cangilones que permanecen presionados a la banda se apartan, permitiendo que las semillas se alojen detrás de ellos. Para la limpieza se deben observar uno a uno y limpiarlos con un cepillo. Este problema se minimiza colocando anillos o suplementos de 1.5 cm de espesor entre el cangilón y la banda, con el fin de permitir

el libre flujo de las semillas entre la banda y los cangilones (Figura 18).

Cabeza del elevador. Normalmente, las semillas se alojan debajo de la polea superior; esto se puede detectar fácilmente al golpear con la mano las piernas del elevador. Para evitarlo, se coloca una lámina en forma de V invertida debajo de la polea para que la semilla que caiga se deslice hasta el suelo y no se acumule sobre la pierna del elevador (Figura 18).

Pie del elevador. Siempre se quedan algunas semillas en la parte inferior del elevador; cuando se termina el trabajo se debe limpiar muy bien este sitio. Cuando el pie del elevador queda por debajo del nivel del suelo se debe dejar suficiente espacio alrededor (0.8 m) para que una persona pueda bajar a hacer la limpieza. También es conveniente que el elevador descansa sobre patas o soportes que facilitan la limpieza; la base del elevador debe ser removible para permitir la descarga del material que se acumula en este lugar (Figura 18).

Altura del elevador

Es importante calcular adecuadamente la altura del elevador para obviar problemas en la instalación y para evitar, dentro de lo posible, tener que abrir el techo de la UBS. La altura total de un elevador que alimenta una máquina o una tolva debe contemplar:

- a. La profundidad del foso (si es el caso).
- b. La distancia entre el nivel del suelo y el tope de la tolva.

- c. La distancia encima de la tolva, necesaria para proporcionar una pendiente de 45° entre el tubo de descarga del elevador y la tolva (este ángulo se determina con respecto a la horizontal tomada en el punto más alto del elevador). Se aconseja una pendiente de más de 45° cuando se transporta semilla que fluye con dificultad.
- d. La altura de la cabeza que comprende el espacio ocupado por la polea y la cubierta del elevador.

Las distancias de los puntos a, b, y d se obtienen directamente, mientras que la del punto c implica hacer algunos cálculos dependiendo de la distancia del elevador al centro de la tolva. En caso de que el ángulo sea de 45° , la altura del elevador, necesaria para proporcionar esa pendiente, es igual a la distancia desde el elevador hasta el centro de la tolva. Por ejemplo, si las distancias fueran: $a = 0.9$ m, $b = 5.0$ m, $c = 4.0$ m, y $d = 0.6$ m, la altura del elevador sería igual a 10.5 m.

Se utilizan dos métodos para disminuir la altura del elevador.

- a. Acercar el elevador a la máquina y a la tolva.
- b. Utilizar un transportador horizontal, del elevador hasta la tolva.

El elevador se puede cargar mediante una tolva colocada en la pierna ascendente o en la descendente. Si se carga por la pierna ascendente, la tolva debe colocarse por encima del eje de la polea inferior con el fin de que la semilla vaya cayendo en los cangilones cuando inician el ascenso. Si la tolva se coloca en la pierna de descenso (es decir, que el elevador se

carga por detrás), la tolva de alimentación se coloca por debajo del eje de la polea inferior, de tal forma que la semilla se deposite en la base y sea recogida por los cangilones a medida que van subiendo.

Se recomienda cargar por la pierna de descenso aquellas semillas que son más susceptibles al daño mecánico.

Mantenimiento

Cuando los cangilones hacen ruido en las paredes del elevador es señal de que la banda está suelta y se debe tensionar. También se recomienda abrir la ventana de vez en cuando y observar la banda. Para estirla se tensiona la polea inferior (Figura 18).

También se deben inspeccionar los cangilones, pues es común que se deformen o se rompan debido a los impactos; estas deformaciones pueden dañar la semilla o el elevador.

Selección de los elevadores

En la selección de un elevador se deben tener en cuenta algunos puntos:

- a. Facilidad de limpieza.
- b. Daños mecánicos.
- c. Capacidad.
- d. Instalación (espacio y construcción del foso).
- e. Tipo de elevador.

Hay un tipo de elevador denominado de carga y descarga interna que se considera autolimpiable, causa muy poco daño, y tiene alta capacidad; sin embargo, es costoso y se necesita más espacio para su instalación.

Tornillo sin-fin o helicoidal

No es el más recomendado para trasportar semillas, especialmente aquellas que son más propensas al daño mecánico, ni es conveniente para trasportar a través de distancias grandes (máximo 3 m). Es útil para rutas cortas en locales congestionados y se encuentra fácilmente en el mercado. Su consumo de energía es relativamente alto. Puede cargar y descargar la semilla en diferentes sitios. Requiere la siguiente atención:

Daños mecánicos

Para minimizarlos se debe trabajar con el tornillo como mínimo al 70% de su capacidad; así se disminuye el porcentaje de semillas dañadas por la fricción entre la pared y el tornillo del equipo.

Limpieza

Siempre se quedan algunas semillas en el tornillo, por lo cual es necesario hacer una buena limpieza al finalizar el trabajo. Los tornillos instalados a la intemperie tienen camisas o carcazas herméticas e impermeables que dificultan su limpieza; algunas empresas de semillas, después de limpiarlos con aire, utilizan agua en abundancia con el fin de matar las semillas que hayan podido quedar en el trasportador.

Transportador vibratorio

Es muy útil para distancias cortas (4.0 m), se limpia por sí sólo, y ocasiona poco daño. Es fácil construirlo y tiene múltiples sitios de cargue y descargue. Se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- a. Velocidad de vibración para evitar que las semillas salten.
- b. Soporte y contrapeso del equipo para disminuir las vibraciones indeseables y evitar que se rompa.

Cuando se necesita una alimentación precisa (separadores por color, electrostáticos, ó magnéticos), se utilizan transportadores vibratorios pequeños con velocidad de vibración regulada electromagnéticamente.

Transportador de banda

El más común consiste en una banda que se desliza sobre una superficie generalmente metálica. Este tipo puede usarse en tramos hasta de 30 m, con capacidades hasta de 50 t/h. Los transportadores de banda pueden ser alimentados en diferentes sitios pero sólo pueden descargar en sus extremos (cuando son reversibles) a no ser que cuenten con un "tripper" (tumbador) o carro que permita descargarlo en diferentes puntos.

Cuando se usa para transportar semillas, la velocidad de la banda no debe ser superior a 1 m/seg y la inclinación de la banda no debe ser superior a 12° pues de lo contrario su capacidad disminuye considerablemente.

El transportador de banda no causa daño mecánico a las semillas, pero puede ser difícil de limpiar o inspeccionar, según el diseño.

El transportador debe tener un sistema que permita tensionar la banda, pues ésta tiende a estirarse con el uso.

Transportador de arrastre o de cadena

Los hay de varios tipos; el de sección en "U" es el más recomendado para semillas. Tienen gran capacidad y permiten cargar y descargar la semilla en diferentes sitios del transportador. Las paletas que arrastran la semilla deben ser de plástico para reducir el daño mecánico. Se debe diseñar la cubierta para facilitar la limpieza e inspección del transportador. Cuando se instalan a la intemperie, el sistema debe ser a prueba de agua. Se debe tener especial cuidado al diseñar los puntos de descarga pues aquí se puede quedar semilla atrancada; este problema se minimiza intercalando cepillos que van bariendo el ducto y ayudando a la limpieza del transportador. Se pueden instalar con poca pendiente; también son reversibles.

Transporte por gravedad

Es el más común, al que menos atención se le presta, y el que puede causar mayor daño mecánico. Se utiliza cada vez que es necesario bajar la semilla y consiste simplemente de un tubo o ducto a través del cual caen las semillas movidas por su propio peso. En estos sistemas es muy importante que la pendiente del tubo sea de 45° para facilitar el flujo de la semilla y la limpieza del mismo. Se deben colocar

amortiguadores de línea y amortiguadores finales para evitar el daño mecánico. A toda costa se debe evitar que la semilla golpee contra láminas metálicas u otras superficies duras (Figura 19).

Control Interno de Calidad

Después del acondicionamiento (cada lote tiene su historia), las semillas están listas para la venta, pero antes se deben analizar sus atributos físicos y fisiológicos. Al momento del empaque se obtienen muestras de 10-50 g (dependiendo del lote), preferiblemente de cada bolsa. Después se homogeniza la muestra por división y se envía solamente esta muestra compuesta al Laboratorio de Análisis de Semillas (LAS). Los resultados del análisis se registran en un archivo especial de acondicionamiento, donde también estará registrado el reporte de beneficio del lote, incluyendo el desempeño de las máquinas (Figura 3).

En algunos países o empresas de semillas, donde no se ha adoptado el sistema de certificación, el análisis de calidad hecho a la muestra tomada durante el empaque se utiliza para la comercialización.

Cuando se tiene el peso final del lote después del acondicionamiento, se determina el porcentaje de pérdida registrado en el archivo; de esta manera se puede analizar el acondicionamiento como un proceso global, operación por operación, incluyendo el secamiento.

Es importante tener en cuenta que una pérdida alta de semilla no quiere decir necesariamente que se mejoró la calidad del lote, pues una máquina mal calibrada puede descartar material bueno. Asimismo una

baja producción en una máquina tampoco implica que se está haciendo una buena separación.

Recuerde que se debe utilizar la máquina más eficaz, de la forma más eficiente, y en condiciones de alcanzar el mayor rendimiento y producción posibles.

VI. Almacenamiento

El almacenamiento empieza desde el momento en que las semillas alcanzan la madurez fisiológica en el campo y termina con el proceso de germinación en el campo. En todo este tiempo la semilla está sometida a muy diversas condiciones de almacenamiento.

Reglas de Almacenamiento

En el almacenamiento de semilla se debe tener presente lo siguiente:

- a. El almacenamiento no mejora la calidad de la semilla pues el proceso de deterioro es inexorable. En consecuencia, si hay necesidad de almacenar semilla por un período largo se deben seleccionar aquellos lotes que tengan la mejor calidad.
- b. El contenido de humedad de las semillas es función de la HR y en menor escala de la temperatura del aire.
- c. La humedad y la temperatura de la semilla son, en ese orden, los factores más importantes del almacenamiento.
- d. Por cada punto que se reduzca el contenido de humedad de la semilla (por ejemplo, de 19% a 18%), se duplica su potencial de almacenamiento. Esto es válido para contenidos de humedad dentro del rango de 4 a 14%.
- e. Por cada 5°C que se reduzca la temperatura de la semilla se duplica su potencial de almace-

namiento. Esto es válido dentro del rango de 0 a 50°C. Para almacenamientos a temperaturas inferiores a 5°C, la semilla debe tener una humedad menor del 9%.

- f. Un ambiente seco, frío, y limpio proporciona las mejores condiciones para almacenar la gran mayoría de las especies.
- g. El potencial de almacenamiento depende de la especie o variedad.
- h. Los lotes de semilla de alta calidad tienen un mayor potencial de almacenamiento que los lotes de baja calidad. Las semillas dañadas, inmaduras, y mal formadas se dañan fácilmente durante el almacenamiento. Se debe evitar el almacenamiento temporal de semilla que tenga muchas impurezas.
- i. Es muy importante llevar registros del inventario y de la calidad de los lotes, de la temperatura y la humedad dentro del cuarto de almacenamiento, y de las fechas de fumigación.
- j. Las condiciones de limpieza y sanidad adecuadas son esenciales, no sólo porque la UBS es la vitrina de la empresa, sino también porque un almacén limpio facilita el control de insectos, aves, y roedores.

Aireación

Se utiliza especialmente en almacenamientos a granel para disminuir y/o uniformizar la temperatura de la semilla y evitar la condensación (Figura 20). Para la

aireación no se necesita un flujo alto de aire; generalmente, son suficientes flujos de aproximadamente $0.1 \text{ m}^3/\text{min/t}$ de semilla. Normalmente para esta operación los ventiladores no requieren más de 1.0 kW de potencia.

Algunas recomendaciones para la aireación son:

- a. Es aconsejable airear si la temperatura externa se encuentra, por lo menos, entre 7 y 10°C por debajo de la temperatura de la masa de semilla.
- b. No se recomienda airear cuando la temperatura externa es mayor que la temperatura de la masa de semillas.
- c. Se debe airear siempre que se detecten calentamientos de 3°C o más dentro de la masa de semillas. Esta aireación se debe hacer lo más pronto posible, incluso cuando no se cumple el literal "a".
- d. Antes de almacenar las semillas es recomendable prelimpiarlas, con el fin de facilitar la aireación.
- e. En caso de necesidad se puede utilizar la aireación para remover de un 1 a un 2% del contenido de humedad de la semilla (dependiendo de la temperatura y HR del ambiente). Con temperaturas ambientales por encima de los 25°C, no es recomendable que la aireación remueva más del 1% de humedad (proceso recientemente conocido como secado-aireación, "secaireación").
- f. Se aconseja airear dos veces por semana durante 3-4 horas.

- g. Es indiferente si el aire se succiona o se sopla a través de la semilla, excepto que al succionar se pueden obstruir los orificios del fondo falso y el polvo removido pasa a través del ventilador.
- h. Durante la aireación, la HR del aire tiene poco efecto sobre la humedad de la semilla, pues el flujo del aire es muy bajo y dura poco tiempo.

Empaque

El empaque se selecciona considerando:

Tipo de empaque

En semillas con un contenido de humedad por encima del 9%, se debe utilizar empaque permeable a los gases para permitir el intercambio de gases (incluyendo vapor de agua) con el ambiente. Se deben utilizar empaques impermeables al vapor de agua en semillas con un contenido de humedad entre el 4 y el 9%, para evitar que la semilla se humedezca. En estos casos se pueden usar materiales tales como lata, vidrio, lámina de aluminio, y plástico con espesores de mínimo 0.3 mm.

Mercadeo

Los empaques de papel facilitan la publicidad y tienen una mejor apariencia. Es importante que el agricultor pueda comprar la semilla en el tamaño de saco que él prefiera o necesite. Es aconsejable comercializar siempre la semilla con un mismo tipo de empaque.

Manejo

Para el empaque de semillas se requiere que el saco sea nuevo; sin embargo, cuando se trabaja con una sola variedad o con un buen control es posible usar el empaque más de una vez, por ejemplo, durante la cosecha y posteriormente para el empaque final. En caso de usar dos veces el mismo empaque se recomienda colocarlo al revés (la parte de adentro hacia afuera) en la primera operación. Los empaques de papel no se pueden reutilizar, algunos incluso se dañan antes de la distribución. Los empaques plásticos son resistentes y se pueden utilizar varias veces pero es difícil acomodarlos en arrumes altos. Los empaques de papel o de plástico dificultan el paso de aire y por tanto dificultan la aireación, el secamiento o la fumigación de la semilla.

Arrumes

La semilla prelimpiada y seca o la semilla limpia puede ser almacenada en sacos colocados en arrumes (Figura 21). El almacén no sólo es el sitio de almacenamiento, sino que representa todo un sistema de manejo de materiales. A continuación se presentan algunos puntos que es necesario tener en cuenta:

- a. Los inventarios de semillas tienen muy baja rotación.
- b. Los inventarios de semillas tienen muchos lotes, variedades, y clases.
- c. Las semillas pueden requerir condiciones especiales de humedad y temperatura.

- d. El concepto de "primero que entra primero que sale" no se aplica para semilla, pues cada lote tiene identidad y calidad propias.
- e. Se deben hacer los arumes obedeciendo ciertas normas para facilitar el muestreo, el tránsito, la aireación, y la fumigación.

Disposición en el almacén

Cuando se manipulan pequeñas cantidades de semilla el operador de la UBS puede saber de memoria su disposición y ubicación; sin embargo, con volúmenes y almacenes más grandes, es importante marcar con tinta o pintura en el piso del almacén los sitios de arume y darles una nomenclatura sencilla y precisa que permita ubicar fácilmente y sin equivocaciones los diferentes lotes. Al disponer la ubicación de los lotes en el almacén, se debe tener en cuenta la popularidad de la especie y/o variedad, su potencial de almacenamiento, y el volumen solicitado en la orden de despacho.

Número de lotes

Hay países donde cada arume está constituido por un sólo lote y todos los sacos del arume se deben muestrear; otros permiten que un arume esté constituido por varios lotes siempre y cuando sean de una misma variedad y exigen muestrear sólo cierto porcentaje de los sacos.

Espaciamiento

Se recomienda una distancia mínima de 0.8 m de la pared a todo lo largo del perímetro del almacén, 0.6 m

entre arrumes, y 1.5 m libres entre el arrume más alto y el techo. Estas distancias facilitan el tráfico, el muestreo y la circulación del aire. También se debe mantener una distancia de 3.0 m entre lotes para facilitar el cargue y descargue de los sacos. En las bodegas que utilizan montacargas u otros vehículos, el ancho de los pasillos debe ser 1.5 veces la longitud del montacarga para poderlo maniobrar. Se sugiere no hacer arrumes demasiado anchos o largos pues ocupan más espacio que los arrumes cuadrados.

Altura

Una de las preguntas más frecuentes en la UBS se refiere a la altura máxima del arrume. La altura no afecta la calidad de las semillas; sin embargo, como no es fácil ni seguro hacer un arrume demasiado alto, por seguridad y facilidad se recomienda que la altura máxima sea de 5.0 m, por lo que se requiere que el techo tenga como mínimo 6.5 m de altura.

Otras recomendaciones

En general, los materiales que se usan para los pisos de los almacenes (cemento, ladrillo) transfieren el calor más fácilmente que las semillas, por lo cual es muy frecuente que haya una diferencia de temperatura entre el piso (frío) y la semilla en contacto con él (caliente). En estas condiciones es posible que se presenten condensaciones en la capa de semillas en contacto con el piso, con el consiguiente deterioro. Para evitarlo se colocan tarimas de madera u otro material, que aíslan las semillas del piso, facilitan el paso del aire, y no permiten que las semillas absorban humedad proveniente del piso.

Capacidad del Almacén para el Almacenamiento de Semillas en Sacos

Generalmente la semilla se distribuye en sacos o bolsas de papel de 0.70 x 0.40 x 0.08 m, que pueden llegar a contener hasta 0.035 m³. Es posible empacar hasta 25 kg de semilla en cada bolsa cuando la semilla tiene un peso volumétrico entre 0.5 y 0.7 t/m³.

Estas bolsas se arruman u organizan por lotes, teniendo en cuenta los espaciamentos recomendados anteriormente. Las bolsas se deben colocar sobre una plataforma y arrumar hasta la altura necesaria. Si las bolsas se mueven utilizando mulas mecánicas, es necesario intercalar tarimas de madera en el arrume, de tal forma que las uñas de la máquina puedan retirar y arrumar estos lotes. Cuando el arrume se hace manualmente o con la ayuda de bandas transportadoras no es necesario colocar tarimas intermedias.

La Tabla 24 presenta información para calcular rápidamente el área necesaria para almacenar semilla en sacos. Los datos corresponden a semillas de diferentes pesos volumétricos (desde 0.2 hasta 0.8 t/m³) y a arrumes de diferentes alturas (desde 1 hasta 5 metros). El área requerida (m²/t) que se indica en la Tabla ya incluye el área necesaria para pasillos y corredores y sirve para calcular el área de almacenamiento requerida con cualquier tamaño de empaque. La altura de la bodega debe ser 1.5 m mayor que la altura del arrume más alto.

Los datos que aparecen en la Tabla se obtuvieron considerando que en una estiba de 1.4 x 1.4 m (1.96 m²) es posible acomodar 8 bolsas de 0.70 x 0.40 x 0.08 m. Se cuenta con un 50% de área adicional para pasillos; es decir, que las 8 bolsas ocupan un área real de 2.45 m² (1.96 x 1.25). Para calcular el área requerida por tonelada de semilla (m²/t), como aparece en la Tabla, se dividió el área ocupada de la bodega por el peso de dicha semilla y se multiplicó por el correspondiente peso volumétrico. Al final de la Tabla se presenta un ejemplo de la manera de utilizarla.

Insectos

Cuando las semillas vienen del campo es aconsejable fumigarlas y proteger el lote de ataques futuros de insectos; para ello se utilizan productos químicos residuales aplicados alrededor de la semilla. Además es de máxima importancia mantener siempre limpias la bodega y demás instalaciones para facilitar el control de los insectos.

Hay muchos fumigantes que se pueden usar en las semillas; para seleccionar cuál utilizar es conveniente que el producto presente las siguientes características:

- a. Bajo costo por dosis efectiva.
- b. Alta toxicidad para los insectos adultos y jóvenes.
- c. Alta volatilidad y buena penetración.
- d. Características evidentes que indiquen que ha sido aplicado (color, olor, etc.).
- e. No corrosivo.

- f. No dañino a la semilla.
- g. Fácilmente disponible y sencillo y barato de aplicar.

Cuando se van a fumigar lotes de semillas a granel o en sacos, utilizando fosfuro de aluminio (Fostoxin, Gastoxin, Fosfina, Detra), se debe sellar herméticamente el lote de semilla con el fin de evitar que se escapen los vapores tóxicos ocasionando un alto riesgo para los operarios y además disminuyendo la dosis de producto aplicada. Para detectar si hay escapes del insecticida se pueden colocar tiras de papel, impregnadas con nitrato de plata, alrededor del arreme o lote de semillas. Si hay escape de gas, éste reacciona con el nitrato de plata ennegreciendo inmediatamente las tiras de papel.

Se consiguen también en el mercado otras sustancias o productos no tóxicos que se pueden usar para proteger las semillas del ataque de insectos. Entre éstos, se pueden citar: arena, cenizas, y aceite. Este último ofrece buenos resultados cuando se utiliza con semilla de frijol en dosis de 1/2 cucharada/kg de semilla.

Especies como el trigo, el maíz, y el frijol presentan problemas de insectos, mientras que otras como el arroz sólo sufren daño si la semilla tiene desprendidas la paleza y la lema.

La temperatura óptima para el desarrollo de los insectos es alrededor de 25°C. **A temperaturas inferiores a los 17°C y en condiciones de HR por debajo del 40%, los insectos no se multiplican.**

Roedores

Es difícil eliminar los roedores en la UBS; sin embargo, se puede controlar el problema de la siguiente manera:

- a. Minimizar la disponibilidad de alimento y agua para los roedores. Esto significa que se debe mantener la UBS limpia.
- b. Eliminar los sitios de protección natural, tales como huecos y depósitos de madera y basura.
- c. Mantener una franja ancha (2 m) limpia alrededor de la UBS; mantener cerradas las puertas, ventanas, y otras aberturas, pues los ratones pueden entrar por aberturas hasta de 5 mm.
- d. Mantener en la UBS predadores naturales como gatos y boas.
- e. Mantener los edificios de la UBS en buen estado, sin huecos en las paredes, el techo, y el piso; tapar las aberturas con malla de alambre y, si es posible, colocar una lámina de metal alrededor de la pared. El mejor control para los roedores es no dejarlos entrar a la UBS.

Para combatir los roedores directamente se utilizan:

- a. Trampas. Sin embargo éste es un proceso que nunca termina.
- b. Cebos tóxicos. Sirven como control temporal hasta que los roedores aprenden a evitarlos. Se debe tener precaución con el cebo mismo para no hacer daño a otros animales domésticos. El cebo

se coloca inicialmente sin el veneno. Los venenos anti-coagulantes son los mejores pues las ratas mueren días después de comerlo.

- c. Repelente. Después de un tiempo las ratas se acostumbran a los repelentes que se hayan utilizado. El ultrasonido ha dado buenos resultados, pero se conoce muy poco acerca de su empleo.
- d. Control biológico. Hasta el momento no se ha encontrado una manera de aplicar control biológico a los roedores.
- e. Choques eléctricos. Las ratas cambian sus rutas habituales y el mecanismo deja de ser útil.
- f. Asfixia. Cuando se almacena en cuartos pequeños y herméticos es posible dejar funcionando dentro del cuarto un motor de combustión interna (podadora de pasto, etc.); éste consumirá todo el oxígeno y producirá dióxido de carbono con lo cual mueren asfixiados los roedores.
- g. Control ambiental. Los roedores no viven en sitios fríos y secos; por tal motivo los cuartos con atmósfera controlada están prácticamente libres de este problema.

Cuarto Frío y Seco

Se pueden almacenar semillas a mediano plazo (2.5 años), manteniéndolas en un ambiente que tenga como máximo 20°C y 50% de HR; en estas condiciones las semillas alcanzarán humedades de equilibrio por debajo del 11% y estarán protegidas contra el ataque de insectos, aves, y roedores. Estas condicio-

nes de temperatura y humedad ocurren naturalmente en algunas regiones, generalmente lejos de los sitios de producción de semillas. Cuando éste es el caso, es necesario establecer artificialmente estas condiciones de almacenamiento, construyendo cuartos de atmósfera controlada o cuartos fríos y secos para el almacenamiento de las semillas (Figura 22).

Se utilizan enfriadores de aire por compresión mecánica en cuartos térmicamente aislados los cuales se enfrían hasta la temperatura deseada. En cuartos pequeños (100 m^3) se pueden usar enfriadores del tipo oficina con capacidad de 5 kW (18,000 BTU/h ó 1.5 t de refrigeración), que pueden enfriar el cuarto hasta los 17°C . Las pérdidas de semilla debidas a fallas en el equipo de enfriamiento se evitan manteniendo un equipo de repuesto de tal forma que si falla el primero el segundo entra en operación inmediatamente, antes de que aumente la temperatura dentro del cuarto. Con el fin de disminuir el paso de calor desde el exterior, las paredes, el cielo raso y el piso se aíslan térmicamente con una capa de por lo menos 5 cm de espesor, fabricada con materiales tales como fibra de vidrio, poliuretano, o icopor (Tabla 25).

La HR del aire se mantiene por debajo del 50%, evitando el paso de vapor de agua desde el exterior y removiendo la humedad proveniente de las semillas, de las personas que entran al cuarto, y del aire que se infiltra. Lo primero se logra colocando una barrera de vapor en las paredes, en el techo y en el piso; esta barrera de vapor puede ser una película de polivinilo, plástico o una capa gruesa de pintura asfáltica o a base de caucho. Es muy importante evitar grietas o fisuras que permitan el paso de la humedad en los traslapes entre paredes, techo, y piso. Por esta mis-

ma razón, el cuarto no debe tener más aberturas que la puerta y ésta debe sellar bien, de tal forma que no haya infiltraciones de aire. La humedad dentro del cuarto se puede remover con un deshumidificador, ya sea de los detipo unidad de refrigeración o de los que trabajan con sílica gel.

Los costos aproximados de este tipo de cuarto son de US\$60/m² de superficie, incluyendo mano de obra y materiales (aislante térmico, barrera de vapor, y malla de alambre). Este valor no incluye la obra civil: paredes de ladrillo, piso, techo, etc. Un acondicionador de aire de 5 kW de capacidad cuesta aproximadamente US\$500 y un deshumidificador de 15 litros de capacidad puede costar alrededor de US\$300.

Finalmente, es necesario proteger el cuarto contra aves y roedores; por eso es conveniente colocar malla de alambre en aquellos lugares por donde se pueden entrar al cuarto: cielos rasos, paredes de madera, o puertas con grietas.

Control de Calidad

Durante el almacenamiento normal se recomienda tener en cuenta los siguientes controles:

Humedad

Es aconsejable controlar la humedad de la semilla cada dos meses durante su almacenamiento y necesariamente en el momento del despacho para hacer los descuentos y ajustes debido al cambio de peso. Normalmente, el patrón de comercialización es del 13%; sin embargo, no es fácil convencer al agricultor que un saco de semilla con un 10% de humedad que

pesa 48.3 kg es equivalente a un saco de 50 kg con 13% de humedad.

Germinación

La calidad fisiológica de las semillas se controla durante el almacenamiento, practicando una prueba de germinación cada dos meses. El período entre análisis puede ser más largo en regiones frías y puede incluso ser hasta de seis meses si se almacena en cuartos fríos y secos. Es importante recordar que la prueba de germinación no indica el potencial de almacenamiento de un lote de semillas. Un lote con bajo vigor puede perder rápidamente su potencial de germinación.

Despacho

Se debe llevar un registro minucioso de todos los lotes de semilla que entran y salen del almacén. En el momento de despachar un lote de semillas es altamente recomendable guardar una muestra testigo en un recipiente que pueda ser 'lacrado' por la persona encargada de transportar el producto; de esta manera, y si se presenta algún problema, se puede aclarar si éste sucedió antes o después del despacho.

VII Equipos y Repuestos

Compra

Al comprar equipos para la planta se deben considerar los siguientes aspectos:

- a. Que haya sido diseñado para trabajar con semillas; es decir, que no cause daño mecánico a la semilla y que sea autolimpiable.
- b. Que sus partes se puedan cambiar fácilmente: zarandas, cilindros, discos, etc., y se consigan los tamaños requeridos para los diferentes cultivos.
- c. Que sea fácil de inspeccionar, limpiar, mantener, y reparar.
- d. Que tenga la capacidad apropiada para la línea donde se va a instalar.
- e. Que sea estable y dinámicamente balanceado para evitar vibraciones excesivas.
- f. Que permita tantos ajustes como sean necesarios para el tipo de semillas con las que se va a trabajar.
- g. Que no tenga partes o elementos que puedan causar daño mecánico a las semillas.
- h. Que el fabricante demuestre confiabilidad, conocimiento, y responsabilidad.

Catálogos

Obtenga catálogos de los equipos que desea comprar o guarde los catálogos de los que ya tiene. La información que incluyen es muy útil.

Especificaciones

Siempre que ordene la compra de un equipo o repuesto, especifique bien la marca, el modelo, el tamaño, el peso, la capacidad, los requerimientos de energía, y el material de fabricación. Entre más detalles se especifiquen, menor será el riesgo de recibir el equipo errado. Es conveniente conocer las partes de la máquina que sufren mayor desgaste para ordenar algunos repuestos en el momento de comprar la máquina; ésto evita paros innecesarios o retrasos en el futuro.

Recepción del pedido

En el momento de recibir el equipo o los repuestos es necesario constatar que cumple con las especificaciones y que todo está en perfecto estado. En caso contrario se debe devolver inmediatamente al proveedor.

No olvide incluir dentro del precio del equipo los costos del flete y del seguro. Es conveniente incluir dentro del pedido un equivalente al 25% del costo del equipo para repuestos y partes que requieran ser reemplazadas frecuentemente y que sean difíciles de conseguir.

Siempre que sea posible, asesórese de personas que hayan trabajado con el equipo y conozcan su funcionamiento.

Asistencia técnica

Cuando se trata de equipos, existe siempre la posibilidad de que algo funcione mal. En tal caso, o tan pronto como se detecte una anomalía, se debe llamar al técnico especializado; así se ahorra tiempo y se evitan riesgos innecesarios. En caso de necesitar entrenamiento en el manejo y mantenimiento de los equipos, se debe contratar este servicio con el fabricante en el momento de hacer la compra. Aclare muy bien con el vendedor todo lo referente a garantías y seguros.

Mantenimiento

Es recomendable que cada equipo tenga su propio registro de mantenimiento; se debe tener especial cuidado con la máquina de aire y zaranda, la mesa de gravedad, los elevadores, la máquina de discos, el separador de cilindro indentado, las zarandas cilíndricas, el deshumidificador y el secador. Las partes móviles necesitan mantenimiento constante.

Algunas sugerencias:

- a. Enseñar a los empleados la necesidad e importancia del mantenimiento.
- b. Mantener las herramientas necesarias y los equipos accesorios en buenas condiciones.

- c. Exigir que solamente las personas autorizadas trabajen con el equipo especializado (soldador eléctrico, de acetileno, etc.)
- d. Además de los equipos de mantenimiento, revisar los extintores de incendio, el gas para soldadura y los terminales eléctricos.
- e. Mantener las escaleras de trabajo siempre despejadas e impedir que se utilicen como soporte.
- f. Evitar que las bandas de una misma polea tengan diferentes grados de desgaste. Cuando se cambie una banda de éstas, es requisito cambiarlas todas.

La longitud (L) de la banda que conecta dos poleas se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4c}$$

donde:

- L = longitud de la banda
- C = distancia entre los dos ejes de las poleas
- D = diámetro de la polea grande
- d = diámetro de la polea pequeña

El cálculo se puede hacer usando cualquier unidad (metro, pulgadas, etc.) siempre y cuando se hagan todas las mediciones en la misma unidad. Para medir la distancia entre ejes (C) se deben colocar las poleas a una distancia intermedia entre el máximo y el mínimo permisibles.

- g. Disponer de diferentes tipos de grasas y lubricantes para los diferentes equipos y sus partes.
- h. Limpiar el exceso de grasa o aceite; en caso contrario se acumula polvo, el cual ocasiona problemas de funcionamiento.
- i. Limpiar regularmente los filtros de aire.
- j. Revisar si hay sobrecalentamiento de los motores eléctricos. Medir el amperaje y revisar los rodamientos. No usarlos sin el elemento de seguridad.
- k. Mantener un inventario de aquellas piezas o repuestos que se requieren con regularidad o de aquellas de difícil consecución y que pueden fallar en cualquier momento, paralizando la operación de la planta.
- l. Verificar regularmente los niveles de aceite y mantener limpios los filtros. Cambiarlos cada vez que sea necesario.
- m. Mantener tuercas y tornillos ajustados, especialmente en aquellas máquinas que están sometidas a vibración.
- n. Revisar los conectores eléctricos regularmente, ajustándolos y manteniéndolos en buen estado, al igual que los contactores eléctricos.
- o. Programar el mantenimiento general de la planta y las reparaciones mayores para la época de poca actividad. Preparar un plan de trabajo y conseguir con tiempo los repuestos y materiales que se van a necesitar para las diferentes actividades.

- p. Instalar un horómetro a los equipos más importantes para conocer la producción de la máquina y programar su mantenimiento de acuerdo con el número de horas trabajadas.
- q. Las tolvas deben tener 45° de inclinación (60° para materiales brozosos) para garantizar que no se queden materiales en ella, facilitando así su limpieza. La Tabla 26 presenta el ángulo que forma la arista formada por dos planos inclinados, la cual es útil cuando se van a construir las tolvas.

Recuerde lo que se dice sobre el mantenimiento:

Cuando todo va bien nadie recuerda que existe.

Cuando algo va mal todos dicen que no existe.

Cuando se deben efectuar gastos se dice que no es necesario.

Pero cuando no existe, todos concuerdan en que debería existir.

VIII. Seguridad Industrial

Normalmente las personas toman conciencia del peligro y se mantienen alerta solamente después de que ha ocurrido un accidente. A continuación se mencionan algunos procedimientos que pueden evitar o disminuir muchos accidentes de trabajo.

Equipo de Protección Personal

- a. Usar equipo de protección para los ojos en sitios donde haya polvo, soldaduras, esmeriles, hornos, o vapores tóxicos.
- b. Ubicar las señales de peligro y las recomendaciones de seguridad industrial en puntos visibles de la planta.
- c. Usar máscara protectora cuando se limpien los silos, el almacén, o los locales empolvados.
- d. Cubrir la cara, las manos y los pies cuando se trabaje con pesticidas.
- e. Proteger los oídos en locales de alto ruido.
- f. Colocar guardas en los sitios donde hay partes móviles, tales como poleas, bandas, motores, etc.
- g. Instalar interruptores y fusibles para todos los equipos.
- h. Colocar plataformas, rampas, y escaleras que faciliten el ajuste, la inspección, el mantenimiento, y la limpieza de los equipos.

Pesticidas

- a. Exigir a los empleados el uso de caretas protectoras mientras se hacen aplicaciones de los pesticidas. Siempre debe haber como mínimo dos personas al hacer aplicaciones en recintos cerrados.
- b. Avisar a todos los empleados cuando se vaya a hacer una aplicación y colocar avisos en la planta.
- c. Colocar señales de "No Fumar" en los locales donde se almacenen pesticidas y en general en todos los espacios cerrados de la UBS.
- d. Prohibir a los empleados consumir alimentos cerca de los sitios donde se almacenan los pesticidas.
- e. Identificar claramente la clase de pesticida utilizado y conocer su antídoto.
- f. Ofrecer capacitación a los operadores que trabajan con pesticidas y enseñarles cómo actuar en caso de intoxicación.
- g. Realizar análisis periódicos de colinesterasa entre los empleados con el fin de detectar a tiempo intoxicaciones por contacto prolongado con productos químicos.

Protección de las Máquinas

- a. Dar a conocer a todos los empleados los procedimientos de seguridad.
- b. Proteger las bandas, cadenas, poleas y partes móviles de las máquinas.
- c. Tener siempre presente las medidas de protección que se deben tener cuando una máquina está en operación.
- d. Destacar los sitios de peligro con tinta o pintura roja.

Electricidad

- a. Recubrir los alambres que estén expuestos.
- b. Proteger las cajas y los tomas de corriente.
- c. Conectar a tierra todos los equipos.
- d. Identificar en la caja de interruptores ("breakers") los equipos a los que corresponde cada circuito.
- e. Tener un arrancador para motores de más de 5 hp.
- f. Evitar que el agua se acumule en sitios donde hayan circuitos eléctricos.
- g. Señalar los lugares de alto voltaje.

Áreas de Trabajo

- a. Proporcionar suficiente espacio a los empleados en el área de trabajo.
- b. Mantener las salidas libres de todo obstáculo.
- c. Asignar dos personas como mínimo para el manejo de la semilla.
- d. Mantener cerraduras de seguridad en los cuartos fríos y secos.
- e. Mantener accesible la caja de primeros auxilios.
- f. No fumar dentro de la UBS.

Incendios y Explosiones

- a. Mantener los extintores de incendio del tipo apropiado, cargados, en perfecto estado de funcionamiento, y en un lugar visible y de fácil acceso.
- b. Ubicar en un lugar visible los números telefónicos de emergencia (bomberos, hospital, ambulancia, etc.)
- c. Brindar instrucción a los operadores sobre cómo actuar en caso de incendio.
- d. Revisar regularmente la alarma de incendio y los extintores.

Generalidades

- a. Botar la basura diariamente.
- b. Conservar los baños en buenas condiciones sanitarias.
- c. Iluminar adecuadamente los lugares de trabajo.
- d. Recubrir las superficies húmedas.
- e. Mantener limpia y despejada una franja de 2 m alrededor de la UBS.

IX. Limpieza de la Planta

La limpieza de la planta, cuando se va a empezar a trabajar con una nueva variedad o cultivo, es uno de los aspectos más importantes en el manejo de una Unidad de Beneficio de Semillas. De lo contrario se presentan mezclas varietales y se perjudica seriamente la empresa.

Es conveniente evitar que diferentes variedades del mismo cultivo pasen consecutivamente por la misma línea de beneficio; se deben alternar cultivos para facilitar la limpieza y disminuir los riesgos de contaminación.

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

Se supone que los equipos diseñados para el beneficio de semillas se limpian por sí mismos; de todos modos hay sitios donde se puede acumular la semilla. El operario debe familiarizarse con estos sitios y revisarlos cada vez que limpia la planta.

Se debe hacer la limpieza de la planta siguiendo una secuencia lógica y teniendo en cuenta que se debe empezar a limpiar de arriba hacia abajo:

- a. Al iniciar la limpieza, abrir totalmente las compuertas de las tolvas y remover aquellas partes de las máquinas que faciliten el acceso a sitios escondidos. Es importante ubicar los sitios

difíciles de limpiar y aquellos lugares donde se acumula la semilla. En lo posible, se debe resolver el problema pero si no, es necesario tener en cuenta estos lugares y prestarles especial atención durante la limpieza.

- b. Tapar todos los huecos, grietas, o rendijas en las tolvas, paredes, y pisos pues en estos sitios se deposita semilla y se dificulta y demora la limpieza.
- c. Poner a trabajar los equipos de la planta en vacío, particularmente la MAZ, los elevadores, las bandas, los transportadores de cadena, la mesa de gravedad y el sistema de extracción de polvo.
- d. Lavar la tratadora con agua cada vez que se utilice, pues los residuos químicos son altamente corrosivos.
- e. Remover las zarandas de la MAZ, poner los ventiladores con el máximo flujo de aire, y aumentar la vibración de las zapatas.
- f. Remover las tapas de los amortiguadores de caídas y demás ventanas de inspección para facilitar la salida del material.

Se debe supervisar estrictamente la operación de limpieza si se desea garantizar su eficiencia y eficacia, especialmente en el caso de algunos equipos que pueden tomar varios días para limpiarlos si esta actividad se deja a libertad de los operarios (e.g., los cepillos de la MAZ). La planta se debe limpiar de la mejor manera en el menor tiempo posible.

Durante la limpieza es conveniente también revisar las máquinas para detectar posibles daños o desajustes que, corregidos a tiempo, pueden evitar daños mayores. Asimismo, esta revisión permite detectar sitios en donde la semilla puede estar sufriendo daño mecánico.

El equipo de limpieza necesario incluye aspiradores, sopladores, aire comprimido (150 lb/plg²), y sobre todo escobas, las cuales son esenciales para una buena labor.

Finalmente, se debe crear conciencia entre los operarios de la importancia de la limpieza, no sólo desde el punto de vista de la calidad de la semilla sino también porque la UBS es la vitrina de la empresa.

X. Costos del Beneficio de Semillas

Generalmente el precio de venta de la semilla es como mínimo 1.5 veces mayor que el precio de venta del grano; entre las causas de este sobreprecio está el costo de beneficio. Al igual que en todo cálculo de costos de producción, no es fácil determinar cuánto cuesta exactamente beneficiar una tonelada de semilla; sin embargo, se pueden hacer cálculos aproximados, los cuales son muy útiles para evaluar el desempeño de la empresa.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo calcular aproximadamente los costos de beneficio:

Aspectos varios

Especificaciones	Valor (US\$)
1. Edificios (700 m ²)	120,000.00
2. Maquinaria y equipos	100,000.00
3. Capacidad de acondicionamiento:	
a. Soya - 800 t semilla/año (2 t/h)	
b. Arroz - 200 t semilla/año (1 t/h)	

(continúa)

Costos

A. Costos fijos		US\$/año
Depreciación		
a. Edificios	(5%/año)	6,000.00
b. Equipos	(10%/año)	10,000.00
Mantenimiento		
a. Edificios	(1%/año)	1,200.00
b. Equipos	(3%/año)	3,000.00
Seguros	(5%/año)	11,000.00
Gastos financieros	(8%/año)	<u>17,600.00</u>
Subtotal		<u>48,800.00</u>
Gastos		
administrativos	(5%/año)	<u>2,400.00</u>
TOTAL COSTOS FIJOS		<u>51,200.00</u>
B. Costos variables		US\$/año
Personal		
(Si el personal es permanente —no contratistas— este costo se considera como un costo fijo.)		
a. Supervisor (1/3 tiempo completo)		2,730.00
b. Operador (1 tiempo completo)		3,900.00
c. Ayudantes (2 tiempos completos)		<u>3,900.00</u>
Costo total personal		10,530.00

(continúa)

(Continuación)

Costos variables	US\$/año
-------------------------	-----------------

Electricidad

Horas de Secamiento

Capacidad de secamiento = 1.6 t/h

i. Soya (se seca el 40% de la semilla)

$$\frac{800 \text{ t/año} \times 40\%}{1.6 \text{ t/h}} = 200 \text{ h/año}$$

ii. Arroz (se seca el 100% de la semilla)

$$\frac{200 \text{ t/año} \times 100\%}{1.6 \text{ t/h}} = 125 \text{ h/año}$$

Total horas secamiento 325 h/año

Consumo de energía eléctrica de los equipos utilizando un secador intermitente:

	<u>Potencia (KW)</u>
Elevador (MAZ)	0.5
Prelimpiadora	1.0
Elevador	0.7
Tornillo y descarga	1.0
Ventilador	<u>4.0</u>
Total	<u>7.2</u>

Costo electricidad para el proceso de secamiento =

$$325 \text{ h/año} \times 7.2 \text{ kW} \times \text{US\$ } 0.05/\text{kWh}$$

Costo total secamiento 117.00

(continúa)

(Continuación)

Costos variables	US\$/año
------------------	----------

Acondicionamiento

i. Soya

Capacidad de acondicionamiento = 2 t/h

$\frac{800 \text{ t/año}}{2 \text{ t/h}} = 400 \text{ h/año}$

ii. Arroz

Capacidad de acondicionamiento = 1 t/h

$\frac{200 \text{ t/año}}{1 \text{ t/h}} = 200 \text{ h/año}$

Total horas acondicionamiento = 600 h/año

Consumo de energía eléctrica de los equipos utilizando un secador intermitente:

	<u>Potencia (KW)</u>
Elevador (MAZ)	0.7
MAZ	6.0
Elevador	0.7
Cilindro	1.5
Elevador (cilindro)	0.6
Distribuidor en espiral	0.4
Mesa de gravedad	7.0
Elevador (MAZ)	0.6
Transportador vibratorio	0.8
Tratadora	0.5
Luces	1.0
Varios	<u>1.0</u>
Total	<u>20.8</u>

(continúa)

(Continuación)

Costos variables	US\$/año
Costo electricidad para el proceso de acondicionamiento =	
20.8 kW x 600 h/año x US\$ 0.05/kWh	
<u>Costo total acondicionamiento</u>	<u>624.00</u>
<u>Costo Total de la Electricidad</u>	<u>741.00</u>

Combustible

(el secador intermitente lento utilizado, seca a un costo estimado de US\$ 2.10/t de semilla según se explicó en las p. 42 y 43)

a. Soya

$$\text{US\$ } 2.10/\text{t} \times 800 \text{ t/año} \times 40\% = 672.00$$

b. Arroz

$$\text{US\$ } 2.10/\text{t} \times 200 \text{ t/año} \times 100\% = 420.00$$

Empaque

(cada saco de 50 kg de capacidad cuesta US\$ 1.00; entonces el costo por tonelada —20 sacos— de semilla será de US\$ 20.00)

a. Soya

$$\text{US\$ } 20.00/\text{t} \times 800 \text{ t/año} = 16,000.00$$

(continúa)

(Continuación)

Costos variables	US\$/año
b. Arroz	
US\$ 20.00/t x 200 t/año =	4,000.00
TOTAL COSTOS VARIABLES	<u>32,363.00</u>

C. Costo total US\$/tonelada

El 66% y el 34% de los costos se atribuyen a la soya (800 toneladas) y al arroz (200 toneladas), entonces:

1. Soya

a. Costos fijos

$$\begin{aligned} \text{US\$ } 51,200 \times 0.66 &= \\ \text{US\$ } 33,792/\text{año} &= \\ \text{US\$ } 33,790/800 \text{ t} &= 42.24 \end{aligned}$$

b. Costos variables

i. Personal

$$\begin{aligned} \text{US\$ } 10,530 \times 0.66 &= \\ \text{US\$ } 6,950/\text{año} &= \\ \text{US\$ } 6,950/800 \text{ t} &= \underline{8.69/\text{t}} \end{aligned}$$

ii. Electricidad

$$\begin{aligned} \text{US\$ } 741 \times 0.66 &= \\ \text{US\$ } 489/\text{año} &= \\ \text{US\$ } 489/800 \text{ t} &= 0.61/\text{t} \end{aligned}$$

iii. Combustible = 2.10/t

iv. Empaque = 20.00/t

(continúa)

(Continuación)

Costo total	US\$/tonelada
Total costos variables	= 31.40
COSTO TOTAL SOYA	= 73.64
2. Arroz	
a. <u>Costos fijos</u>	
US\$ 51,200 x 0.34	=
US\$ 17,410/año	=
US\$ 17,410/200 t	= 87.04
b. <u>Costos variables</u>	
i. Personal	
US\$ 10,530 x 0.34	=
US\$ 3,580/año	=
US\$ 3,580/200 t	= <u>17.90/t</u>
ii. Electricidad	
US\$ 741 x 0.34	=
US\$ 252/año	=
US\$ 252/200 t	= 1.26/t
iii. Combustible	
	= 2.10/t
iv. Empaque	
	= <u>20.00/t</u>
<u>Total costos variables</u>	= 41.26
<u>COSTO TOTAL ARROZ</u>	= 128.30

Nótese que los costos fijos representan el mayor porcentaje de los costos totales. Los costos fijos/kg de semilla disminuyen a medida que aumenta la producción de la planta.

XI Anexos

- 1 Equipos mínimos requeridos para el control interno de calidad.
- 2 Un método simple y preciso para determinar el contenido de humedad de las semillas.
- 3 Prueba del pH del exudado colorimétrico.
- 4 Prueba de tetrazolio.
- 5 Prueba de germinación fisiológica.
- 6 Prueba del verde rápido.
- 7 Prueba de inmersión en clórox.
- 8 Prueba del cloruro férrico.
- 9 Prueba del hidróxido de potasio para arroz rojo.
- 10 Construcción de un sicrómetro de voleo.
- 11 Cálculo del flujo de aire en un secador estacionario.
- 12 Utilización del manómetro de tubo en "U".

Anexo 1

Equipos Mínimos Requeridos para el Control Interno de Calidad

1. Dos determinadores de humedad
 - a. Preferiblemente uno basado en la extracción directa de la humedad (Figura 1).
 - b. Otro electrónico basado en la resistencia eléctrica o constante dieléctrica de la semilla.
2. Muestreadores para granel y en sacos.
3. Descascarador de arroz (o tener acceso a uno prestado).
4. Báscula con una precisión de 1 gramo.
5. Termómetros (rango 0-100°C).
6. Termómetros de bulbo húmedo y bulbo seco.
7. Higrotermógrafo.
8. Implementos para determinar viabilidad y daño mecánico.
 - a. Equipo para la prueba del exudado (Anexo 3).
 - b. Equipo para la prueba de tetrazolio (Anexo 4).
 - c. Equipo para la prueba de verde rápido (Anexo 6).
9. Cuarto de almacenamiento de muestras (1 kg de cada lote vendido).

9. Cuarto de almacenamiento de muestras (1 kg de cada lote vendido).
10. Determinador del peso volumétrico (hectolítrico).

Anexo 2

Un Método Simple y Preciso para Determinar el Contenido de Humedad de las Semillas

Existe un método sencillo, barato, y preciso para determinar el contenido de humedad de las semillas, el cual requiere sólo pocas cantidades (100 g); cada determinación dura alrededor de 20 min. Dicho método consiste en extraer, mediante evaporación, toda la humedad de las semillas para condensarla y recolectarla posteriormente en un recipiente graduado.

A. Materiales (Figura 1)

1. Soporte para la cámara de condensación.
2. Cámara de condensación (30 cm x 13 cm).
3. Tubo de condensación (preferiblemente de cobre).
4. Tubo de conexión (plástico o caucho).
5. Tubo curvo (preferiblemente de cobre).
6. Termómetro (200°C).
7. Tapón de caucho.
8. Frasco Erlenmeyer (500 ml).
9. Mechero (fuente de calor).

10. Soporte para el mechero y el Erlenmeyer.

11. Probeta graduada.

B. Procedimiento

1. Se pesan 100 g de semillas, si son de cereales, ó 50 g si son semillas grandes como las de café o cacao. La muestra se coloca dentro de un Erlenmeyer o cualquier otro recipiente de vidrio al cual se añade aceite hasta que sobrepase la muestra en un centímetro.
2. Se cierra el frasco con un tapón de caucho al cual esta conectados el tubo curvo y el termómetro; este último debe tener su extremo sensible sumergido 1 cm en el aceite. El tubo curvo se conecta con el que va a la cámara de condensación.
3. Enseguida se vierte agua fría en la cámara, llenándola hasta 2 cm por debajo del borde. Debajo de la cámara se coloca la probeta graduada.
4. Una vez armado todo el equipo, se enciende el mechero para calentar la muestra hasta que la temperatura del aceite alcance 180°C. Se apaga el fuego y se espera hasta que se haya evaporado toda el agua.
5. Finalmente se hace la lectura en la probeta graduada. Cuando se han usado muestras de 100 g, la lectura corresponde directamente al contenido porcentual de humedad; si la muestra es de 50 g es necesario multiplicar este valor por dos.

C. Observaciones

1. Utilizar muestras sin material vegetal extraño.
2. Repetir la prueba si se observa agua en los tubos.
3. Sumergir el termómetro en el aceite teniendo cuidado de que no toque el fondo del recipiente.
4. Evitar la salida de vapor por cualquier abertura.
5. Trabajar en sitios donde no haya corrientes de aire.
6. Limpiar los tubos entre una determinación y otra.

Anexo 3

Prueba del pH del Exudado Colorimétrico

Esta prueba está diseñada para determinar viabilidad en semillas de soya.

A. Materiales

1. Bandeja de 100 compartimientos con 2.5 ml de capacidad cada uno.
2. Pinza.
3. Agua destilada y hervida durante 5 minutos.
4. Alcohol farmacéutico, fenolftaleína y carbonato de sodio (Na_2CO_3).

B. Procedimiento

1. Prepare una solución con 2.1 g de Na_2CO_3 por litro de agua destilada y hervida.
2. Disuelva 5 g de fenolftaleína disuelta en 500 ml de alcohol y 500 ml de agua destilada y hervida.
3. Después de preparar las soluciones (1) y (2) mezclarlas en una proporción de 1:1.
4. Vierta agua destilada y hervida en la bandeja y coloque aquí las semillas durante 30 min.
5. Agregue una gota de la solución en cada compartimiento.

6. Mezcle la solución con el exudado.
7. Haga la lectura. Las semillas viables producen exudados rojos y las semillas muertas exudados incoloros.

C. Observaciones

Para otras semillas, se necesita calibrar el método, disminuyendo o aumentando la concentración de Na_2CO_3 . Para semilla de frijol se deben utilizar alrededor de 3 g, y para semillas de maíz amarillo 4.8 g de Na_2CO_3 /litro de agua.

Anexo 4

Prueba de Tetrazolio

La prueba de tetrazolio ha sido diseñada para medir la viabilidad de la semilla.

A. Materiales

1. Sal de tetrazolio (TZ).
2. Placas de petri y vaso de precipitado.
3. Herramienta para cortar la semilla.
4. Pinzas y lupa.
5. Papel toalla.

B. Procedimiento

1. Prepare una solución de tetrazolio al 1.0% con agua destilada y hervida durante 15 minutos para obtener un pH entre 6 y 8. Esta solución se puede almacenar en un frasco oscuro y diluirla posteriormente según se necesite.
2. Coloque las semillas entre papeles para embeber durante toda la noche o en un recipiente con agua durante 3-4 h a una temperatura de 30°C. Las semillas estarán listas cuando estén embebidas y se pueda hacer un corte a través del embrión.
3. Sumerja la semilla en la solución de TZ durante un período de tiempo determinado

(Tabla 3). Las temperaturas entre 20°C y 45°C no afectan la precisión de la prueba, por lo tanto, no se deben usar temperaturas inferiores o superiores a este rango. Por regla general, el proceso de tinción se acelera a mayor temperatura (a 35°C es dos veces más rápido que a 25°C).

C. Observaciones

Se deben conocer las estructuras esenciales de la semilla en las cuales las partes rojas son tejidos vivos. Un embrión rojo no muy oscuro es indicativo de una semilla viable.

Anexo 5

Prueba de Germinación Fisiológica

A. Materiales

1. Sustrato.
 - a. papel de germinación
 - b. arena o suelo
2. Ambiente con temperatura de 25°C.

B. Procedimiento

1. Seleccione un número de semillas puras del lote, que sea un múltiplo de 100 (2 ó 4 x 100).
2. Si utiliza papel, agréguele 2.8 veces su peso en agua.

Si utiliza arena o suelo agregue agua al sustrato hasta que al apretarlo con la mano se forme una pelota que se pueda partir con facilidad al presionarla con dos dedos.

3. Siembre la semilla equidistante entre sí en una hoja de papel de germinación, en repeticiones de 100 semillas cada una, y cúbrala con otra hoja del mismo papel. Se aconseja que la hoja de abajo sea de mayor gramaje; en caso contrario utilice dos hojas delgadas en la parte inferior. Enrolle las hojas con las semillas.

En caso de utilizar arena para semillas grandes como las de frijol, éstas se deben sembrar a 2.5 cm de profundidad.

4. Una vez sembradas, coloque las semillas en un ambiente a 25°C.
5. Haga una lectura de la germinación de acuerdo con los intervalos de tiempo especificados para cada cultivo en la Tabla 3. Es más exacto hacer dos conteos, removiendo en el primero las plántulas normales y las muertas.
6. Sume las plántulas normales del primero y segundo conteo de cada repetición.
7. Sume el número de plántulas normales en cada repetición y divida por el número de repeticiones para determinar el porcentaje de germinación del lote.

C. Observaciones

1. Se define como anormal una plántula que no tenga la capacidad de desarrollarse en una planta normal cuando se la cultive en condiciones favorables, debido a que una o más de las estructuras esenciales de la plántula resulten defectuosas (plántulas dañadas, deformadas, desequilibradas, o podridas por infección).
2. En muchas regiones tropicales, donde la temperatura promedio es de 25°C, basta colocar las semillas a germinar en un recipiente que evite la evaporación del agua pero que permita el intercambio gaseoso. Esto se logra

colocando las semillas enrolladas en las hojas de papel, como se describió anteriormente, en una caja de madera o de otro material, o simplemente en una bolsa plástica con perforaciones. Recuerde que es muy importante que el sustrato tenga suficiente humedad durante el tiempo en que la semilla está germinando.

Anexo 6

Prueba del Verde Rápido

La prueba del verde rápido se usa para revelar la extensión del daño del pericarpio en semilla de maíz (*Zea mays*). El daño en el pericarpio de la semilla de maíz se puede detectar usando un estereoscopio; sin embargo, la prueba del verde rápido es un método simple y rápido que no requiere equipo de laboratorio costoso. El verde rápido FCF (oxalato verde de malaquita) se puede adquirir generalmente en cantidades de 10 ó 25 g en cualquier almacén de productos químicos.

La prueba del verde rápido también se puede utilizar para detectar daño en la cutícula de semilla de leguminosas tales como alfalfa (*Medicago sativa*), trébol "Crimson" (*Trifolium incarnatum*) y otras semillas de leguminosas de tamaño similar.

El verde rápido en concentraciones bajas no es tóxico para los embriones y las plántulas pequeñas. Por lo tanto, se pueden poner a germinar semillas coloreadas y las plántulas normales o anormales se pueden examinar para observar la naturaleza del daño.

A. Materiales

1. Verde rápido.
2. Vasos de precipitado de 250 ml o recipientes de capacidad similar.
3. Un recipiente de 1000 ml para mezclar el verde rápido en agua.

B. Procedimiento

1. Prepare una solución de verde rápido al 0.1% (e.g., 1 g/1000 ml de agua común).
2. Separe al azar repeticiones de 100 semillas. Coloque cada repetición en un vaso de precipitado.
3. Vierta suficiente cantidad de solución de verde rápido en cada recipiente para cubrir la semilla. Agite la semilla a intervalos durante los primeros 30 segundos. Déjela reposar durante aproximadamente 2 minutos más.
4. Vierta la solución de verde rápido y enjuague la semilla en agua corriente.
5. Extienda las semillas sobre una toalla absorbente o en papel secante.
6. En cada repetición, cuente las semillas que presenten rupturas teñidas en el pericarpio. Calcule el promedio de semilla con daño, con base en todas las repeticiones.

C. Resultados

1. Si se encuentra que el lote presenta un porcentaje de daño al pericarpio de la semilla de maíz, entre el 30 y el 50%, el productor de semillas debe tomar las medidas necesarias para reducir el daño durante el manejo y desgrane de la semilla de maíz. Un lote con más del 50% de daño se debe descartar aunque la semilla esté tratada, pues causa pérdidas significativas en el rendimiento.

2. Cada semilla de leguminosa que se encuentre coloreada generalmente está muerta o no llegará a ser una plántula normal.

D. Observaciones

1. La prueba del verde rápido no es confiable para determinar daño mecánico en semilla de soya porque incluso algunas de las semillas sin daño absorben la solución, conduciendo a una apreciación equivocada.
2. La prueba de verde rápido se ha utilizado también para predecir germinación en semilla de alfalfa.
3. La solución de verde rápido se puede reutilizar siempre que no haya retenido mucho residuo proveniente de las semillas.

Anexo 7

Prueba de Inmersión en Clórox o Agua

Esta prueba se usa en el laboratorio para determinar el porcentaje de daño ocasionado durante la cosecha o la trilla a semilla de soya (*Glycine max*) y se puede adaptar para realizarla en el campo. También se puede utilizar con frijol (*Phaseolus vulgaris*) y algunas semillas dicotiledóneas grandes.

A. Materiales

1. Dos o más bandejas, preferiblemente plásticas, con capacidad para aproximadamente 100 semillas.
2. Clórox (hipoclorito de sodio al 5.25%) y agua común.

B. Procedimiento

1. Mezcle aproximadamente 3 onzas (85 ml) de clórox en 1 gal de agua.
2. Descarte la semilla que tenga fisuras profundas y la semilla partida.
3. Para cada repetición, separe al azar 100 semillas y coloque cada repetición en una bandeja.
4. Vierta la solución de clórox sobre las semillas hasta cubrir las completamente.

5. Después de 10 min, vierta la solución de clórox, retire las semillas y extiéndalas sobre una toalla de papel para revisarlas.
6. Cuente el número de semillas hinchadas. Si se han hecho varias repeticiones, calcule el promedio de semilla dañada.

C. Resultados

Si en el campo se encuentra un porcentaje de semillas hinchadas superior al 10%, se deben hacer ajustes a la combinada. En una planta de beneficio se debe determinar el porcentaje de semillas hinchadas en un lote, antes y después de la limpieza para detectar el daño causado por el equipo.

D. Observaciones

1. La solución de clórox puede dañar superficies pintadas o embarnecidas.
2. Si las semillas se dejan en la solución de clórox durante más de 15 min, las semillas sin daño también absorberán la solución, alterando los resultados de la prueba.
3. La solución de clórox se puede reutilizar en el mismo día; después de este tiempo la solución se desnaturaliza.
4. En el caso de semillas de soya y frijol, la prueba se puede hacer utilizando solamente agua en lugar del clórox.

Anexo 8

Prueba del Cloruro Férrico

Las áreas de la semilla de leguminosas que han sufrido daño físico se vuelven negras cuando se colocan en una solución de cloruro férrico. Este es un método práctico que permite hacer una estimación rápida del porcentaje de anomalías que se puede esperar de un determinado lote de semillas. Es una prueba que se hace en el sitio y permite ajustar el equipo de la planta de beneficio para reducir el daño al resto de la semilla.

A. Materiales

1. Cloruro férrico (FeCl). (Se obtiene generalmente como reactivo en grado de terrones.)
2. Un mortero y su majador o cualquier otro medio para moler.
3. Platos de petri o recipientes similares.

B. Procedimiento

1. Muela en un mortero los terrones de cloruro férrico hasta pulverizarlos.
2. Prepare una solución de cloruro férrico al 20%, añadiendo cuatro partes de agua a una parte de cloruro férrico por peso.
3. Añada media cucharadita de detergente líquido a la solución.

4. Separe al azar por lo menos dos muestras de 100 semillas cada una y colóquelas en platos de petri. Si el tiempo lo permite se deben hacer dos o más repeticiones para aumentar la precisión de la prueba.
5. Vierta suficiente solución en cada plato para cubrir completamente las semillas. Verifique que las semillas livianas puedan flotar.
6. Pasados 5 min, empiece a separar las semillas que se colorean de negro, aunque la mancha sea muy pequeña. Es importante determinar que sea una mancha negra y no un color natural café oscuro.
7. Continúe separando las semillas negras hasta pasados 15 min de añadida la solución. No separe semillas después de 15 min.
8. Cuente el número de semillas que se han coloreado de negro en cada repetición. Calcule el promedio para todas las repeticiones.

C. Resultados

Generalmente todas las semillas teñidas están muertas o se convierten en plántulas anormales cuando germinan.

D. Observaciones

La solución se puede reutilizar.

Anexo 9

Prueba del Hidróxido de Potasio para Arroz Rojo

El arroz rojo se considera una maleza nociva económicamente importante en todas las regiones productoras de arroz. Debido a la variación que existe en el tiempo de emergencia o de maduración del arroz rojo en el campo, sus semillas (tanto las coloreadas como las casi incoloras) pueden contaminar los lotes de semilla de arroz. El hidróxido de potasio (KOH) se puede usar para detectar cariópsis de arroz rojo en muestras de variedades cultivadas de arroz.

A. Materiales

1. Una solución acuosa de KOH al 2%.
2. Un recipiente pequeño, y cajas de petri o tubos de ensayo.
3. Un gotero.

B. Procedimiento

1. Descascare las cariópsis manual o mecánicamente.
2. Coloque las cariópsis descascaradas distanciadas entre sí en una caja de petri, de tal modo que la solución de KOH que se gotea sobre una semilla no se mezcle con la de otra.

3. Añada 2 gotas de la solución de KOH sobre cada cariópsis.
4. Observe y separe las cariópsis que se toman de color rosado claro, indicativo de la presencia de arroz rojo. Por lo general, la solución de KOH en contacto con las cariópsis adquiere un color rojo oscuro en un lapso de 10 minutos. Sin embargo, existen especies de arroz rojo que pueden requerir hasta 30 minutos para producir el cambio de coloración de la solución de KOH.

C. Observaciones

1. El KOH se puede conseguir en cualquier casa comercial que venda productos químicos.
2. Las semillas de las variedades cultivadas de arroz muestran un color amarillo dorado claro al contacto con la solución.
3. Se recomiendan las siguientes publicaciones sobre el tema:
 - Rosta, K. 1975. Variety determination in rice (*Oryza sativa*). Seed Science and Technology 3(1):161-169.
 - Louisiana State Seed Testing Laboratory. 1980. A potassium hydroxide test for the confirmation of red rice (*Oryza sativa*) Seed Assoc. Off. Seed Analysts Handbook 54(1): 68-69.

Anexo 10

Construcción de un Sicrómetro de Voleo

El sicrómetro se construye fijando dos termómetros a una base. Esta base debe tener una manija o una cuerda que permite girar los termómetros de tal forma que los bulbos estén en contacto con el aire ambiente (Figura 12).

El bulbo del termómetro de bulbo húmedo debe estar cubierto por un material higroscópico que permita el paso del aire, por ejemplo, tela de algodón. Este material debe permanecer húmedo mientras se está usando el sicrómetro. Si el bulbo húmedo se seca, medirá la misma temperatura del termómetro de bulbo seco.

El aire en contacto con el bulbo húmedo evapora el agua de éste. El agua al evaporarse toma energía del bulbo húmedo, reduciendo así su temperatura. Si la humedad relativa del medio ambiente es del 100% no habrá evaporación y los dos termómetros registrarán la misma temperatura.

Tampoco habrá la evaporación requerida cuando no hay movimiento de aire alrededor del bulbo húmedo; para lograr el proceso de evaporación se requiere que la corriente de aire tenga una velocidad mínima de 1 m/seg para determinar correctamente la temperatura de bulbo húmedo. Cuando la corriente de aire tiene una velocidad menor a la requerida, es necesario

hacer girar el sicrómetro durante aproximadamente 2 minutos, a una velocidad mínima de 1 vuelta/seg.

El bulbo húmedo se debe humedecer con agua limpia a una temperatura mayor o igual a la del aire del ambiente que se desea medir. Para mantener seco el bulbo seco se recomienda fijarlo por encima del bulbo húmedo.

Finalmente, para determinar el contenido de humedad con base en las temperaturas de bulbo húmedo y de bulbo seco, se utiliza una tabla de conversión, como la que se ha incluido en las Tablas 12 y 13, o se puede utilizar la carta sicrométrica (Figura 11).

Anexo 11

Cálculo del Flujo de Aire en Secador Estacionario

Las recomendaciones principales para el secamiento de semillas en secadores estacionarios son:

1. Calentar el aire a temperaturas que no excedan los 40°C.
2. Secar con aire cuya humedad relativa esté entre 40 y 70%.
3. Secar una capa de máximo 120 cm de profundidad.
4. Utilizar un flujo de aire entre 6 y 10 m³/min/t de semilla.

La temperatura y humedad relativa del aire y la profundidad de la capa de semillas son relativamente fáciles de medir y de controlar, pero generalmente es muy difícil medir el flujo de aire, especialmente cuando no se tienen las curvas características del ventilador ni del sistema de secado.

Sin embargo, existe una manera fácil y práctica de calcular el flujo de aire del ventilador y, por consiguiente, determinar si se está utilizando el caudal apropiado.

Cuando haya llenado el secador con la semilla que se va a secar, efectúe los siguientes procedimientos:

1. Determine el área del piso falso del secador (ver las fórmulas geométricas de la Figura 8).
2. Determine la profundidad de la capa de semilla. Antes de tomar la medida asegúrese de que la capa esté aplanada, formando un plano paralelo al piso falso.
3. Determine el volumen de semilla que se desea secar, multiplicando el área del piso falso del secador (paso 1) por la altura de la capa de semillas (paso 2).
4. Calcule la masa de semillas contenida en ese volumen determinado, multiplicando el peso volumétrico de la semilla que se va a secar (Tabla 10) por el volumen de la semilla (paso 3).
5. Determine la caída de presión del aire al pasar a través de la capa de semillas. Para hacerlo se requiere un manómetro de tubo en "U", el cual se puede construir de acuerdo con las indicaciones que aparecen en el Anexo 12. El ventilador debe estar funcionando para hacer esta medición.
6. Cuando tenga el manómetro, coloque suficiente agua en el tubo de tal forma que los brazos o ramales de la "U" queden a medio llenar.
7. Apoye el manómetro en una superficie horizontal y marque el lugar donde las columnas de agua se equilibran.
8. Una vez registrada la marca, introduzca el tubo metálico del manómetro dentro de la capa de semillas. Entre más se introduzca el tubo menor será el error de lectura; por esto, se debe intro-

ducir desde la parte superior de la capa hasta que toque el piso falso del secador o hasta que haya penetrado por lo menos 1 m.

Al introducir el tubo metálico, el aire que sale del ventilador hace subir el agua del manómetro separando los niveles que estaban equilibrados (uno sube y el otro baja). Esta distancia entre los dos niveles es la caída de presión del aire al pasar a través de la capa de semillas.

9. Determine la distancia entre los dos niveles (mm) y divídala por la profundidad hasta la cual se introdujo el tubo del manómetro (m); en esta forma se obtiene la caída de presión en mm de agua/m de capa de semillas.
10. Determine el flujo de aire/área del secador, utilizando el Diagrama de Shedd (Figura 9). Con el dato de caída de presión (paso 9), siga la línea vertical en el Diagrama de Shedd hasta que se cruce con la línea inclinada correspondiente a la semilla que se está secando. En la intersección de estas dos líneas, siga en sentido horizontal hasta el eje de la izquierda donde se puede leer el caudal de aire en m^3 de aire /min/ m^2 de área del secador.
11. Determine el caudal total de aire (m^3/min), multiplicando el área del secador (paso 1) por el caudal de aire (paso 10).
12. Finalmente determine el caudal de aire/masa de semillas, dividiendo el caudal total (paso 11) por la masa de semillas (paso 4). El resultado indica los m^3 de aire/min/t de semillas.

Con el fin de ilustrar el método descrito para calcular el flujo de aire, a continuación se presenta un ejemplo: Se está secando semilla de arroz en un silo cilíndrico de piso falso. La capa de semillas se ha nivelado y el ventilador está funcionando.

- a. Para determinar el área del piso falso se mide el diámetro del silo, el cual es 4 m, y utilizando las fórmulas geométricas de la Figura 8, se calcula que el área del silo es 12.6 m^2 .
- b. Se introduce una regla y se determina que la altura de la capa de semillas es igual a 0.9 m.
- c. El volumen de la semillas es igual al área del silo multiplicada por la altura de la capa de semillas

$$12.6 \text{ m}^2 \times 0.9 \text{ m} = 11.3 \text{ m}^3$$

- d. El peso volumétrico del arroz es 0.58 t/m^3 (Tabla 10); entonces, la masa de semillas es igual a:

$$0.58 \text{ t/m}^3 \times 11.3 \text{ m}^3 = 6.55 \text{ t}$$

- e. Una vez se ha colocado agua en el manómetro y se ha marcado el punto de equilibrio de los brazos, se introduce el tubo del manómetro hasta el fondo del silo. La distancia entre los niveles de los brazos del manómetro en este ejemplo es de 54 mm para una capa de semillas de 0.9 m; la caída de presión será igual a:

$$54 \text{ mm}/0.9 \text{ m} = 60 \text{ mm de agua/m de capa de semillas}$$

- f. En la Figura 9 se observa que a una caída de presión de 60 mm de agua/m de semilla,

corresponde un caudal de 10 m^3 de aire/min/ m^2 de área de silo para secar semilla de arroz.

- g. El caudal total de aire será igual al área del silo multiplicada por el caudal de aire.

$$\begin{aligned} & 12.6 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m}^3 \text{ de aire/min/m}^2 \text{ de área} \\ & = 126.0 \text{ m}^3 \text{ de aire/min} \end{aligned}$$

- h. Entonces, el caudal de aire que se está utilizando para secar la masa de semilla será igual al caudal total de aire dividido por la masa de semillas, así:

$$\begin{aligned} & \frac{126.0 \text{ m}^3 \text{ de aire/min}}{6.55 \text{ t}} \\ & = 19.2 \text{ m}^3 \text{ de aire/min/t} \end{aligned}$$

Este valor está muy por encima del caudal recomendado (de 4 a $17 \text{ m}^3/\text{min/t}$); por lo tanto, no habrá ningún problema en la velocidad de secamiento de este lote de semilla. En estas circunstancias se puede aumentar el espesor de la capa de semilla hasta 1.2 m , con la seguridad de que se podrá secar sin mayores inconvenientes. Incluso, se puede pensar en utilizar el mismo ventilador para secar semilla en otro silo de tamaño similar.

Si en otro caso se obtiene que el caudal requerido es menos de $4 \text{ m}^3/\text{min/t}$, se debe disminuir el espesor de la capa de semilla pues de lo contrario el tiempo de secado sería muy largo con el correspondiente riesgo para la semilla. Otra posibilidad es disminuir el área del secador o cambiar el ventilador por uno de mayor caudal.

Si la potencia del motor del ventilador es superior a la fuerza que requiere el ventilador, se puede aumentar

la velocidad del ventilador cambiando las poleas. Antes de hacer este cambio, verifique que el consumo de energía del ventilador (amperaje) es menor que el valor recomendado por el fabricante (el cual aparece en la placa del motor), y que no se está excediendo el límite de velocidad del ventilador. Si tal es el caso, se pueden cambiar las poleas para aumentar el flujo de aire. Una vez realizados estos cambios, es importante medir de nuevo el caudal de aire para verificar que se encuentra dentro del rango recomendado.

Anexo 12

Utilización del Manómetro de Tubo en "U"

El manómetro de tubo en "U" permite medir directamente la presión del aire expresada como la altura de una columna de agua. Una presión equivalente a 1 atmósfera (101.3 kPa) sostiene una columna de agua de 10.33 m de altura, y una columna de agua de 1 mm de altura equivale a una presión de 9.8 Pa. En sistemas de aireación y secamiento de semillas, se requieren presiones relativamente bajas (hasta un máximo de 200 mm H₂O o sea 1.96 kPa).

Este manómetro se construye con un tubo transparente doblado, según se muestra en la Figura 10; uno de sus extremos está abierto a la atmósfera y el otro se conecta al tubo que se introduce en la capa de semillas. Se añade agua dentro del tubo hasta que los brazos o ramales de la "U" queden a medio llenar. (El agua se puede teñir para facilitar la lectura.) La presión de aire hace subir el nivel del agua de uno de los brazos, mientras que baja el nivel del brazo opuesto. La distancia entre los niveles del agua en cada uno de los brazos de la "U" representa la diferencia de presión ejercida por el aire entre los dos extremos del manómetro.

La presión se expresa en unidades de fuerza sobre área ($1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$) o en mm H₂O. El diámetro del tubo puede ser de cualquier tamaño; generalmente se utiliza una manguera de plástico de 5-10 mm de diámetro.

XII. Tablas

- 1** Tamaño máximo del lote y tamaño mínimo de la muestra de envío (ISTA No. 13, Vol 2, 1985) para realizar el análisis de pureza y la determinación de la presencia de otras especies en el lote de semillas.
- 2** Factores de descuento de peso para secamiento hasta un 13% de humedad (base húmeda) de acuerdo con el contenido inicial de humedad de un lote de semillas.
- 3** Preparación de las semillas para la prueba de tetrazolio.
- 4** Contenido de humedad en equilibrio (%) para semillas de varios cultivos. Datos obtenidos con la ecuación de Roa.
- 5** Contenido de humedad en equilibrio de semillas de hortalizas a 25°C y diferentes humedades relativas. (Laboratorio de Tecnología de Semillas, Universidad del Estado de Mississippi.)
- 6** Contenido de humedad en equilibrio de varias especies de semillas a 25°C y diferentes humedades relativas. (Laboratorio de Tecnología de Semillas, Universidad del Estado de Mississippi.)
- 7** Desempeño de ventiladores centrífugos de aletas rectas.
- 8** Desempeño de ventiladores vano-axiales.

- 9 Características del ventilador necesario para secar semillas de arroz en silos de fondo falso en capas de diferentes espesores.
- 10 Peso volumétrico, gravedad específica, y porosidad de algunas especies de semillas.
- 11 Relación entre el contenido de humedad y el peso volumétrico de algunas semillas.
- 12 Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 10 y 30°C) de bulbo seco y bulbo húmedo en condiciones a nivel del mar.
- 13 Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 30 y 50°C) de bulbo seco y bulbo húmedo en condiciones a nivel del mar.
- 14 Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 50 y 70°C) de bulbo seco y bulbo húmedo en condiciones a nivel del mar.
- 15 Cuadro de conversión de temperaturas de grados Celsius a grados Fahrenheit, y vice versa.
- 16 Contenido energético de algunos combustibles.
- 17 Conversión de fracciones de pulgada a milímetros.
- 18 Dimensiones de las perforaciones de las zarandas de alambre en pulgadas y sus equivalentes en milímetros.
- 19 Número del calibre de alambres y láminas metálicas y su respectivo diámetro o espesor.
- 20 Zarandas comunmente utilizadas en el acondicionamiento de semillas de diversos cultivos.

- 21 Separaciones más comunes realizadas con el cilindro indentado.
- 22 Separaciones más comunes realizadas con discos alveolados.
- 23 Velocidad calculada de la banda del elevador de cangilones para diferentes diámetros de la polea motriz.
- 24 Area requerida (m^2/t) para el almacenamiento de semilla en bolsas según diferentes alturas y diferentes pesos volumétricos.
- 25 Conductividad térmica de varios materiales.
- 26 Angulo en grados de la arista formada por dos planos inclinados.

Manual para el Beneficio de Semillas

TABLA 1 Tamaño máximo del lote y tamaño mínimo de la muestra de envío (ISTA No. 13, Vol 2, 1985) para realizar el análisis de pureza y la determinación de la presencia de otras especies en el lote de semillas.

Especies	Peso máximo del lote (t)	Muestra de envío (g)	Prueba	
			Análisis de pureza (g)	Otras especies (g)
<i>Allium cepa</i>	10	80	8	80
<i>Arachis hypogaea</i>	20	1000	1000	1000
<i>Avena sativa</i>	20	1000	120	1000
<i>Bracharia decumbens</i>	10	100	10	100
<i>Bracharia humidicola</i>	10	100	10	100
<i>Bracharia mutica</i>	10	30	3	30
<i>Centrosema pubescens</i>	20	600	60	600
<i>Desmodium intortum</i>	10	40	4	40
<i>Desmodium uncinatum</i>	20	120	12	120
<i>Fagopyrum esculentum</i>	10	600	60	600
<i>Festuca arundinacea</i>	10	50	5	50
<i>Glycine max</i>	20	1000	500	1000
<i>Gossypium spp.</i>	20	1000	350	1000
<i>Helianthus annuus</i>	20	1000	200	1000
<i>Hibiscus esculentus</i>	20	1000	140	1000
<i>Holcus lantus</i>	10	25	1	10
<i>Hordeum vulgare</i>	20	1000	120	1000
<i>Lespedeza juncea</i>	10	30	3	30
<i>Linum usitatissimum</i>	10	150	15	150
<i>Lolium multiflorum</i>	10	60	6	60
<i>Lotus corniculatus</i>	10	30	3	30
<i>Medicago sativa</i>	10	50	5	50
<i>Meilolus alba</i>	10	50	5	50
<i>Oryza sativa</i>	20	400	40	400
<i>Panicum maximum</i>	10	25	2	20
<i>Paspalum notatum</i>	10	70	7	70
<i>Phalaris canariensis</i>	10	200	20	200
<i>Phaseolus lunatus</i>	20	1000	1000	1000
<i>Phaseolus vulgaris</i>	20	1000	700	1000
<i>Pisum sativum</i>	20	1000	900	1000
<i>Ricinus communis</i>	20	1000	500	1000

(continúa)

TABLA 1 (continuación)

Especies	Peso máximo del lote (t)	Muestra de envío (g)	Prueba	
			Análisis de pureza (g)	Otras especies (g)
<i>Secale cereale</i>	20	1000	120	1000
<i>Sorghum bicolor</i>	10	900	90	900
<i>Stylosanthes gulanensis</i>	10	70	7	70
<i>Trifolium incarnatum</i>	10	80	8	80
<i>Trifolium subterraneum</i>	10	250	25	250
<i>Trifolium pratense</i>	10	50	5	25
<i>Triticum aestivum</i>	20	1000	120	1000
<i>Vicia faba</i>	20	1000	1000	1000
<i>Vigna unguiculata</i>	20	1000	400	1000
<i>Zea mays</i>	40	1000	900	1000

TABLA 2. Factores de descuento de peso para secamiento hasta un 13% de humedad (base húmeda) de acuerdo con el contenido inicial de humedad de un lote de semillas.

Contenido Inicial de humedad (%)	0.0*	0.1*	0.2*	0.3*	0.4*	0.5*	0.6*	0.7*	8*	0.9*
	Factores de conversión									
13.0	1.000	0.999	0.998	0.997	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.990
14.0	0.989	0.987	0.986	0.985	0.984	0.983	0.982	0.980	0.979	0.978
15.0	0.977	0.976	0.975	0.974	0.972	0.971	0.970	0.969	0.968	0.967
16.0	0.966	0.964	0.963	0.962	0.961	0.960	0.959	0.957	0.956	0.955
17.0	0.954	0.953	0.952	0.951	0.949	0.948	0.947	0.946	0.945	0.944
18.0	0.943	0.941	0.940	0.939	0.938	0.937	0.936	0.934	0.933	0.932
19.0	0.931	0.930	0.929	0.928	0.926	0.925	0.924	0.923	0.922	0.921
20.0	0.920	0.918	0.917	0.916	0.915	0.914	0.913	0.911	0.910	0.909
21.0	0.908	0.907	0.906	0.905	0.903	0.902	0.901	0.900	0.899	0.898
22.0	0.897	0.895	0.894	0.893	0.892	0.891	0.890	0.889	0.887	0.886
23.0	0.885	0.884	0.883	0.882	0.880	0.879	0.878	0.877	0.876	0.875
24.0	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869	0.868	0.867	0.866	0.864	0.863
25.0	0.862	0.861	0.860	0.859	0.857	0.856	0.855	0.854	0.853	0.852
26.0	0.851	0.849	0.848	0.847	0.846	0.845	0.844	0.843	0.841	0.840
27.0	0.839	0.838	0.837	0.836	0.834	0.833	0.832	0.831	0.830	0.829

28.0	0.828	0.826	0.825	0.824	0.823	0.822	0.821	0.820	0.818	0.817
29.0	0.816	0.815	0.814	0.813	0.811	0.810	0.809	0.808	0.807	0.806
30.0	0.805	0.803	0.802	0.801	0.800	0.799	0.798	0.797	0.795	0.794

* Contenido de humedad (%) con un nivel de precisión de 0.1.

EJEMPLO: El descuento por humedad se puede calcular con la siguiente fórmula: $P_f = F \times P_i$

P_f = Peso final
 F = Factor de descuento
 P_i = Peso inicial

EJEMPLO: Cuál es el peso final de un lote de semillas con un peso inicial de 20,000 kg y un contenido inicial de humedad del 21.6%, si se seca hasta el 13%?

En la Tabla encontramos que el factor de descuento (F) es 0.901. Entonces,

$$\begin{aligned} \text{Peso final} &= 0.901 \times 20,000 \text{ kg} \\ &= 18,020 \text{ kg} \end{aligned}$$

con un contenido final de humedad del 13%. Para calcular los descuentos de peso para una humedad final diferente al 13%, se puede usar la siguiente fórmula:

$$P_f = \frac{(100 - H_i)}{(100 - H_f)} \times P_i$$

Así, por ejemplo para el lote del ejemplo anterior, cuál será el peso final si la semilla se seca hasta un 12.5% de humedad?

$$\begin{aligned} P_f &= \frac{(100 - 21.6)}{(100 - 12.5)} \times 20,000 \text{ kg} \\ &= 0.896 \times 20,000 \text{ kg} \\ &= 17,920 \text{ kg con un 12.5\% de humedad} \end{aligned}$$

TABLA 3. Preparación de las semillas para la prueba de tetrazolio.

Especie	Nombre científico	Preparación	Concentración de la solución (%)	Tiempo de tinción 35° C (h)	Observaciones
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	No requiere	1.0	6 - 7	Semillas duras
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	Remover la testa	1.0	2 - 3	Remover la membrana interna antes de la tinción
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	Corte longitudinal	0.1	2 - 3	
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	No requiere	1.0	3 - 4	Semillas duras
Avena	<i>Avena sativa</i>	Corte longitudinal	0.1	0.5 - 1	El endosperma se desintegra con un tiempo prolongado de tinción
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	Corte longitudinal	0.1	0.5 - 1	
Centeno	<i>Secale cereale</i>	Corte longitudinal	0.1	0.5 - 1	
Festuca	<i>Festuca inermis</i>	Corte longitudinal	0.1	2 - 3	
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	No requiere	1.0	3 - 4	Semillas duras
Lenteja	<i>Eryum lens</i>	No requiere	1.0	6 - 7	Semillas duras
Lespedeza	<i>Lespedeza striata</i>	No requiere	1.0	6 - 7	Semillas duras
Lino	<i>Linum usitatissimum</i>	No requiere	1.0	3 - 4	
Maíz	<i>Zea mays</i>	Corte longitudinal	0.1	0.5 - 1	

Mani	<i>Arachis hypogaea</i>	Remover la testa	1.0	3 - 4	
Pasto bermuda	<i>Cynodon dactylon</i>	Corte lateral o pinchar	1.0	6 - 8	
Pasto bromo	<i>Bromus inermis</i>	Corte longitudinal	0.1	2 - 3	
Pasto bufalo	<i>Brachiaria mutica</i>	Corte lateral a través del embrión	1.0	2 - 3	
Pasto dallis	<i>Paspalum dilatatum</i>	Corte longitudinal	0.1	2 - 3	
Pensacola	<i>Paspalum notatum</i>	Corte longitudinal	0.1	2 - 3	
Raigrass	<i>Loilum multiflorum</i>	Corte longitudinal	0.1	2 - 3	
Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>	Corte longitudinal	0.1	0.5 - 1	
Soya	<i>Glycine max</i>	No requiere	1.0	3 - 4	Semillas duras
Timothy	<i>Phleum pratense</i>	Corte lateral o pinchar	1.0	4 - 6	
Trébol	<i>Trifolium sp.</i>	No requiere	1.0	6 - 7	Semillas duras
Trébol		No requiere	1.0	6 - 7	
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	Corte lateral	1.0	2 - 3	
		Corte longitudinal	0.1	0.5 - 1	
Vicia	<i>Vicia faba</i>	No requiere	1.0	6 - 7	
Vigna	<i>Vigna catjang</i>	No requiere	1.0	3 - 4	Semillas duras

TABLA 4. Contenido de humedad en equilibrio (% base húmeda) para semillas de varios cultivos. Datos obtenidos con la ecuación de Roa.

Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
ARROZ								
5	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7
10	5.1	5.0	4.9	4.8	4.8	4.7	4.6	4.5
15	6.7	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	5.8
20	7.9	7.8	7.6	7.4	7.3	7.1	7.0	6.9
25	8.9	8.7	8.5	8.3	8.2	8.0	7.8	7.7
30	9.7	9.5	9.3	9.1	8.9	8.7	8.5	8.4
35	10.4	10.2	9.9	9.7	9.5	9.3	9.1	8.9
40	11.0	10.7	10.5	10.3	10.1	9.9	9.7	9.5
45	11.5	11.3	11.0	10.8	10.6	10.4	10.2	10.0
50	12.0	11.8	11.5	11.3	11.1	10.9	10.6	10.4
55	12.5	12.3	12.0	11.8	11.6	11.4	11.1	10.9
60	13.1	12.8	12.6	12.3	12.1	11.9	11.6	11.4
65	13.7	13.4	13.2	12.9	12.7	12.4	12.2	12.0
70	14.4	14.1	13.8	13.6	13.3	13.1	12.8	12.6
75	15.2	14.9	14.6	14.4	14.1	13.8	13.6	13.3
80	16.2	15.9	15.6	15.3	15.0	14.7	14.5	14.2
85	17.4	17.1	16.7	16.4	16.1	15.8	15.5	15.2
90	18.8	18.4	18.0	17.7	17.4	17.0	16.7	16.4
95	20.3	19.9	19.5	19.2	18.8	18.4	18.0	17.7
FRIJOL								
5	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
10	5.4	5.3	5.3	5.2	5.2	5.1	5.1	5.0
15	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3	6.2	6.1
20	7.6	7.5	7.4	7.3	7.2	7.1	7.0	6.9
25	8.4	8.3	8.1	8.0	7.9	7.7	7.6	7.5
30	9.1	8.9	8.8	8.6	8.5	8.3	8.2	8.0
35	9.7	9.6	9.4	9.2	9.0	8.9	8.7	8.5
40	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4	9.2	9.1

(continúa)

TABLA 4. (continuación)

Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
FRIJOL								
45	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6
50	11.8	11.5	11.3	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2
55	12.5	12.3	12.0	11.8	11.5	11.3	11.1	10.9
60	13.3	13.1	12.8	12.6	12.3	12.1	11.9	11.6
65	14.3	14.0	13.7	13.5	13.2	13.0	12.8	12.5
70	15.3	15.1	14.8	14.6	14.3	14.1	13.8	13.6
75	16.6	16.3	16.1	15.8	15.6	15.3	15.1	14.9
80	18.1	17.9	17.6	17.4	17.1	16.9	16.7	16.4
85	19.9	19.7	19.5	19.3	19.1	18.8	18.6	18.4
90	22.2	22.0	21.8	21.6	21.4	21.3	21.1	20.9
95	24.9	24.8	24.6	24.5	24.4	24.3	24.1	24.0
FRIJOL NEGRO								
5	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1
10	4.9	4.7	4.5	4.4	4.2	4.0	3.8	3.7
15	6.8	6.5	6.2	5.9	5.6	5.4	5.1	4.9
20	8.2	7.8	7.5	7.1	6.8	6.5	6.2	5.9
25	9.3	8.9	8.4	8.0	7.7	7.3	6.9	6.6
30	10.2	9.7	9.2	8.8	8.3	7.9	7.5	7.2
35	10.8	10.3	9.8	9.3	8.9	8.4	8.0	7.7
40	11.3	10.8	10.3	9.8	9.3	8.9	8.5	8.1
45	11.7	11.2	10.7	10.2	9.7	9.3	8.8	8.4
50	12.2	11.6	11.1	10.6	10.1	9.7	9.2	8.8
55	12.7	12.2	11.6	11.1	10.6	10.1	9.7	9.3
60	13.4	12.8	12.3	11.7	11.2	10.7	10.2	9.8
65	14.3	13.7	13.1	12.5	12.0	11.5	11.0	10.5
70	15.4	14.8	14.1	13.5	13.0	12.4	11.9	11.4
75	16.9	16.2	15.5	14.9	14.2	13.6	13.1	12.5
80	18.8	18.0	17.3	16.6	15.9	15.2	14.6	14.0

(continúa)

TABLA 4. (continuación)

Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
FRIJOL NEGRO								
85	21.2	20.3	19.5	18.7	17.9	17.2	16.5	15.8
90	24.0	23.1	22.1	21.2	20.4	19.6	18.8	18.0
95	27.5	26.4	25.4	24.4	23.4	22.5	21.6	20.8
MAIZ								
5	3.9	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4
10	6.2	5.8	5.5	5.1	4.8	4.6	4.3	4.0
15	7.6	7.2	6.8	6.5	6.1	5.8	5.5	5.2
20	8.7	8.2	7.8	7.4	7.0	6.7	6.4	6.0
25	9.4	9.0	8.5	8.1	7.8	7.4	7.1	6.7
30	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.7	7.3
35	10.5	10.1	9.7	9.3	8.9	8.6	8.2	7.9
40	11.1	10.6	10.2	9.8	9.4	9.1	8.7	8.4
45	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.3	8.9
50	12.2	11.8	11.3	10.9	10.5	10.2	9.8	9.5
55	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0
60	13.6	13.1	12.7	12.2	11.8	11.4	11.0	10.7
65	14.4	13.9	13.4	13.0	12.6	12.1	11.7	11.4
70	15.3	14.8	14.3	13.8	13.4	13.0	12.5	12.1
75	16.4	15.9	15.3	14.8	14.4	13.9	13.5	13.0
80	17.7	17.1	16.6	16.0	15.5	15.0	14.5	14.1
85	19.2	18.6	18.0	17.4	16.8	16.3	15.8	15.3
90	21.1	20.4	19.8	19.1	18.5	17.9	17.3	16.7
95	23.5	22.7	21.9	21.2	20.5	19.8	19.1	18.5
SORGO								
5	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7
10	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.6	4.5
15	6.6	6.5	6.4	6.3	6.1	6.0	5.9	5.8

(continúa)

TABLA 4. (continuación)

Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
SORGO								
20	7.9	7.7	7.6	7.4	7.3	7.1	7.0	6.8
25	8.9	8.7	8.5	8.4	8.2	8.0	7.9	7.7
30	9.8	9.6	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.5
35	10.5	10.3	10.1	9.9	9.7	9.5	9.4	9.2
40	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4	10.2	10.0	9.8
45	11.8	11.6	11.4	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4
50	12.3	12.1	11.9	11.7	11.5	11.3	11.1	11.0
55	12.8	12.6	12.4	12.2	12.0	11.8	11.7	11.5
60	13.2	13.0	12.8	12.7	12.5	12.3	12.1	12.0
65	13.7	13.5	13.3	13.2	13.0	12.8	12.7	12.5
70	14.2	14.0	13.9	13.7	13.5	13.4	13.2	13.1
75	14.9	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.9	13.7
80	15.7	15.5	15.4	15.2	15.0	14.9	14.7	14.5
85	16.8	16.6	16.4	16.3	16.1	15.9	15.8	15.6
90	18.2	18.0	17.8	17.7	17.5	17.3	17.1	17.0
95	20.0	19.8	19.7	19.5	19.3	19.1	18.9	18.7
SOYA								
5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
10	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
15	5.9	5.8	5.7	5.7	5.6	5.5	5.5	5.4
20	7.0	6.8	6.6	6.5	6.3	6.2	6.0	5.9
25	7.8	7.5	7.2	7.0	6.7	6.5	6.2	6.0
30	8.4	8.0	7.6	7.2	6.9	6.6	6.3	6.0
35	8.9	8.4	7.9	7.5	7.0	6.7	6.3	5.9
40	9.4	8.8	8.2	7.7	7.2	6.8	6.3	5.9
45	9.9	9.2	8.6	8.0	7.5	7.0	6.5	6.1
50	10.6	9.8	9.2	8.5	7.9	7.4	6.8	6.4
55	11.5	10.6	9.9	9.2	8.5	7.9	7.4	6.9
60	12.5	11.7	10.8	10.1	9.4	8.8	8.2	7.6
65	13.8	12.9	12.1	11.3	10.5	9.9	9.2	8.6

(continúa)

TABLA 4. (continuación)

Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
SOYA								
70	15.3	14.4	13.5	12.7	12.0	11.3	10.6	9.9
75	17.0	16.1	15.2	14.4	13.6	12.9	12.2	11.5
80	18.9	18.0	17.1	16.2	15.4	14.7	14.0	13.3
85	20.6	19.7	18.8	18.0	17.2	16.4	15.7	15.0
90	22.1	21.1	20.2	19.3	18.5	17.7	16.9	16.1
95	22.9	21.8	20.8	19.8	18.9	18.0	17.2	16.4
TRIGO								
5	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.9
10	6.0	5.8	5.5	5.3	5.0	4.8	4.6	4.4
15	7.5	7.1	6.8	6.4	6.1	5.8	5.6	5.3
20	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9	6.6	6.3	5.9
25	9.3	8.9	8.4	8.0	7.6	7.2	6.9	6.5
30	10.0	9.6	9.1	8.6	8.2	7.8	7.4	7.1
35	10.7	10.2	9.7	9.3	8.8	8.4	8.0	7.6
40	11.4	10.9	10.4	9.9	9.5	9.0	8.6	8.2
45	12.0	11.5	11.0	10.5	10.1	9.7	9.3	8.9
50	12.6	12.1	11.6	11.2	10.7	10.3	9.9	9.5
55	13.2	12.7	12.2	11.8	11.4	11.0	10.6	10.2
60	13.7	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8
65	14.2	13.8	13.4	13.0	12.6	12.2	11.9	11.5
70	14.7	14.3	13.9	13.6	13.2	12.9	12.5	12.2
75	15.4	15.0	14.7	14.3	14.0	13.6	13.3	13.0
80	16.3	15.9	15.6	15.2	14.9	14.6	14.2	13.9
85	17.5	17.1	16.7	16.4	16.0	15.7	15.4	15.0
90	19.0	18.6	18.2	17.8	17.4	17.1	16.7	16.4
95	20.8	20.3	19.9	19.4	19.0	18.6	18.2	17.8

TABLA 5. Contenido de humedad en equilibrio de semillas de hortalizas a 25°C y diferentes humedades relativas. (Laboratorio de Tecnología de Semillas, Universidad del Estado de Mississippi.)

Especie	Nombre científico	Humedad relativa (%)					
		10	20	30	45	60	75
Apio	<i>Apium spp.</i>	5.8	7.0	7.8	9.0	10.4	12.4
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	5.4	7.3	8.6	10.1	11.9	15.0
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>	3.0	4.3	5.6	7.4	9.0	10.8
Cebolla (bulbo)	<i>Allium cepa</i>	4.6	6.8	8.0	9.5	11.2	13.4
Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i>	4.6	6.5	7.8	9.5	11.1	13.2
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	4.2	5.8	7.2	9.3	11.1	14.5
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	2.8	4.2	5.1	5.9	7.1	9.6
Maíz dulce	<i>Zea mays</i>	3.8	5.8	7.0	9.0	10.6	12.8
Mostaza	<i>Sinapis alba</i>	1.8	3.2	4.6	6.3	7.8	9.4
Nabo	<i>Brassica napus</i>	2.6	4.0	5.1	6.3	7.4	9.0
Okra	<i>Hibiscus esculentus</i>	3.8	7.2	8.3	10.0	11.2	13.1
Pastinaca	<i>Pastinaca sativa</i>	5.0	6.1	7.0	8.2	9.5	11.2
Pimienta	<i>Piper nigrum</i>	2.8	4.5	6.0	7.8	9.2	11.0
Pepinillo	<i>Cucumis sativus</i>	2.6	4.3	5.6	7.1	8.4	10.1
Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	2.6	3.8	5.1	6.8	8.3	10.2
Remolacha	<i>Beta vulgaris</i>	2.1	4.0	5.8	7.6	9.4	11.2
Repollo	<i>Brassica oleracea</i>	3.2	4.6	5.4	6.4	7.6	9.6
Repollo chino	<i>Brassica pekinensis</i>	2.4	3.4	4.6	6.3	7.8	9.4
Sandia	<i>Citrullus vulgaris</i>	3.0	4.8	6.1	7.6	8.8	10.4
Tomate	<i>Lycopersicum esculentum</i>	3.2	5.0	6.3	7.8	9.2	11.1
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	4.5	5.9	6.8	7.9	9.2	11.6

TABLA 6. Contenido de humedad en equilibrio de varias especies de semillas a 25°C y diferentes humedades relativas. (Laboratorio de Tecnología de Semillas, Universidad del Estado de Mississippi.)

Especie	Nombre científico	Humedad relativa (%)						
		15	30	45	60	75	90	100
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	-	6.4	7.4	8.6	13.0	18.0	-
Alforfón	<i>Fagopyrum esculentum</i>	6.7	9.1	10.8	12.7	15.0	19.1	24.5
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	3.5	6.0	7.5	9.1	12.5	18.0	-
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	6.8	9.0	10.7	12.6	14.4	18.1	23.6
Avena	<i>Avena sativa</i>	--	8.0	9.6	11.8	13.8	18.5	24.1
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	6.0	8.4	10.0	12.1	14.4	19.5	26.8
Centeno	<i>Secale cereale</i>	7.0	8.7	10.5	12.2	14.8	20.6	26.7
Festuca	<i>Festuca inermis</i>	--	8.4	9.8	11.2	13.3	17.1	-
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	--	5.1	6.5	8.0	10.0	15.0	-
Lino	<i>Linum usitatissimum</i>	4.4	5.6	6.3	7.9	10.0	15.2	21.4
Lespedeza	<i>Lespedeza striata</i>	--	7.2	8.2	9.8	13.5	18.6	-
Maíz	<i>Zea mays</i>	6.4	8.4	10.5	12.9	14.8	19.1	23.8
Maíz pira	<i>Zea mays</i>	6.8	8.5	9.8	12.2	13.6	18.3	23.0
Maní	<i>Arachis hypogaea</i>	2.6	4.2	5.6	7.2	9.8	13.0	-
Millo	<i>Sorghum vulgare</i>	--	8.5	9.8	12.0	13.7	17.0	-
Pasto bermuda	<i>Cynodon dactylon</i>	--	8.1	9.2	10.8	13.6	17.2	-
Pasto sudán	<i>Sorghum bicolor</i>	--	8.6	10.1	11.6	13.2	18.8	-
Raigras	<i>Lolium sp.</i>	--	7.5	10.0	11.2	13.8	17.0	-
Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>	6.4	8.6	10.5	12.0	15.2	18.8	21.9
Soya	<i>Glycine max</i>	4.3	6.5	7.4	9.3	13.1	18.8	-
Trébol	<i>Trifolium sp.</i>	--	7.0	8.6	-	13.5	19.6	-
Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>	--	7.2	8.2	9.2	13.2	18.4	-
Timothy	<i>Phleum pratense</i>	--	-	9.5	11.4	13.6	17.2	-
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	6.3	8.6	10.6	11.9	14.6	19.7	25.6
Veza	<i>Vicia sativa</i>	--	-	-	-	13.0	19.0	-

TABLA 7. Desempeño de ventiladores centrífugos de aletas rectas.

Modelo	Flujo de aire (m ³ /min)	Presión estática					
		50 mm H ₂ O		75 mm H ₂ O		100 mm H ₂ O	
		rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp
20	28	1184	0.52	1379	0.76	-	-
20	34	1265	0.69	1443	0.94	1609	1.24
25	44	944	0.81	1100	1.19	-	-
25	63	1079	1.40	1221	1.87	1343	2.35
35	94	670	1.76	776	2.46	872	3.23
35	122	747	2.64	839	3.53	924	4.44
50	194	467	3.62	541	5.07	608	6.66
50	252	520	5.44	585	7.27	644	9.14
60	279	389	5.21	451	7.29	507	9.58
60	362	434	7.83	487	10.46	537	13.15
80	591	314	12.14	357	16.51	394	20.83
80	739	354	17.89	389	23.07	422	28.47

rpm = revoluciones por minuto; bhp = potencia requerida por el ventilador.

TABLA 8. Desempeño de ventiladores vano-axiales.

Modelo	Flujo de aire (m ³ /min)	Presión estática					
		25 mm H ₂ O		50 mm H ₂ O		75 mm H ₂ O	
		rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp
15	49	1978	0.42	2580	0.91	3094	1.49
15	68	-	-	2788	1.18	3226	1.80
20	87	1477	0.79	1952	1.69	2330	2.74
20	122	-	-	2083	2.21	2429	3.38
27	158	1094	1.44	1446	3.07	1725	5.00
27	221	-	-	1543	4.03	1799	6.17
33	236	895	2.15	1183	4.59	1412	7.47
33	331	-	-	1263	6.02	1472	9.21
44	428	626	3.59	825	7.68	1005	12.95
44	600	-	-	883	10.08	1033	15.58
54	637	514	5.34	676	11.42	825	19.24
54	1019	-	-	753	16.86	872	25.95

rpm = revoluciones por minuto; bhp = potencia requerida por el ventilador.

TABLA 9. Características del ventilador necesario para secar semillas de arroz en silos de fondo falso en capas de diferentes espesores.

Area total del piso del secador = 14.30 m²

Flujo mínimo de aire a utilizar = 15 m³/min/t

Peso volumétrico de las semillas = 0.58 t/m³

Características del aire de secado y del ventilador

Características de la capa de semillas que se va a secar			Caudal total de aire requerido (m ³ /min)	Velocidad del aire a través de la capa (m ³ /min/m ²)	Caída de presión/ metro de espesor (mm H ₂ O/m)	Presión total requerida en el plenum (mm H ₂ O)	Potencia* requerida por el ventilador (kW)
Espesor (m)	Volumen (m ³)	Masa (t)					
0.20	2.86	1.66	24.9	1.7	7	2	0.01
0.40	5.72	3.32	49.8	3.5	16	8	0.06
0.60	8.58	4.98	74.6	5.2	26	20	0.23
0.80	11.44	6.64	99.5	7.0	37	39	0.58
1.00	14.30	8.29	124.4	8.7	49	64	1.20
1.20	17.16	9.95	149.3	10.4	61	96	2.17
1.40	20.02	11.61	174.2	12.2	74	135	3.58
1.60	22.88	13.27	199.1	13.9	88	182	5.51
1.80	25.74	14.93	223.9	15.7	101	237	8.06
2.00	28.60	16.59	248.8	17.4	115	300	11.34

* Potencia teórica sin tener en cuenta la eficiencia del ventilador.

TABLA 10. Peso volumétrico, gravedad específica, y porosidad de algunas especies de semillas.

Especie	Nombre científico	Peso volu- métrico (kg/m ³)	Gravedad específica	Porosidad (%)
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	770	-	-
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	410	-	-
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	580	1.11	50
Avena	<i>Avena sativa</i>	410	0.98	50
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	615	1.24	45
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	-	1.10	-
Centeno	<i>Secale cereale</i>	715	-	-
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	770	-	-
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	350	-	-
Habichuela	<i>Phaseolus vulgaris</i>	380	-	-
Lenteja	<i>Ervum lens</i>	770	-	-
Maíz desgranado	<i>Zea mays</i>	715	1.19	40
Maíz en mazorca	<i>Zea mays</i>	450	-	-
Maíz pira desgranado	<i>Zea mays</i>	715	-	-
Maíz pira en mazorca	<i>Zea mays</i>	450	-	-
Maní con cáscara	<i>Arachis hypogaea</i>	280	-	-
Millo	<i>Sorghum vulgare</i>	640	1.11	37
Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>	715	1.24	37
Soya	<i>Glycine max</i>	770	1.15	34
Trébol	<i>Trifolium sp.</i>	770	-	-
Timothy	<i>Phleum pratense</i>	580	-	-
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	770	1.30	40
Vigna	<i>Vigna catiang</i>	770	-	-
Vicia	<i>Vicia faba</i>	770	-	-

TABLA 11. Relación entre contenido de humedad y el peso volumétrico de algunas semillas.

Especie* (kg/m ³)	Nombre científico	Humedad	Peso volumétrico (%)
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	12.0	586
		14.0	588
		16.0	605
		18.0	615
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	7.9	585
		10.8	593
		13.3	593
		16.6	577
		19.5	569
Maíz (desgranado)	<i>Zea mays</i>	7.3	753
		13.0	737
		16.2	721
		19.2	689
		24.9	657
Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>	6.8	753
		12.0	753
		14.3	753
		18.6	737
		22.1	721
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	7.3	790
		11.0	790
		14.1	756
		17.1	727
		19.3	703

* Note que para algunas especies, a medida que aumenta el contenido de humedad, aumenta el peso volumétrico (e.g., arroz). En otras la situación es inversa (e.g., maíz).

TABLA 12. Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 10 y 30°C) de bulbo seco y bulbo húmedo (0 msnm).

Temperatura de bulbo húmedo (°C)	Temperatura de bulbo seco (°C)																				
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	8	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	17	11	6	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	26	19	14	9	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	35	28	22	16	11	7	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5	45	38	31	24	19	14	10	6	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6	55	47	40	33	27	21	17	12	9	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
7	66	57	49	41	35	29	24	19	15	11	8	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.
8	77	67	58	50	43	37	31	26	21	17	13	10	7	4	2	.	.	.	.	.	.
9	88	77	68	59	52	45	39	33	28	23	19	15	12	9	6	4	2	.	.	.	.
10	100	88	78	69	61	53	46	40	35	30	25	21	17	14	11	9	6	4	2	.	.
11	.	100	89	79	70	62	54	48	42	36	32	27	23	19	16	13	11	8	6	4	2
12	.	.	100	89	79	71	63	56	49	43	38	33	29	25	21	18	15	12	10	8	6
13	.	.	.	100	89	80	72	64	57	51	45	40	35	30	27	23	20	17	14	12	10
14	.	.	.	.	100	90	81	72	65	58	52	46	41	36	32	28	25	21	18	16	13
15	.	.	.	.	.	100	90	81	73	66	59	53	47	42	38	33	30	26	23	20	17
16	.	.	.	.	.	.	100	90	82	74	67	60	54	49	44	39	35	31	28	24	22
17	.	.	.	.	.	.	.	100	90	82	74	67	61	55	50	45	40	36	32	29	26
18	.	.	.	.	.	.	.	.	100	91	82	75	68	62	56	51	46	41	37	34	30
19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	91	83	75	69	63	57	52	47	43	39	35
20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	91	83	76	69	63	58	53	48	44	40
21	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	91	84	76	70	64	59	54	49	45
22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	91	84	77	71	65	59	54	50
23	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	92	84	77	71	65	60	55
24	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	92	85	78	72	66	61
25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	92	85	78	72	67
26	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	92	85	79	73
27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	92	85	79
28	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	92	86
29	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	92
30	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100

Ejemplo para la utilización de la tabla: Temperatura bulbo seco = 25° C, Temperatura bulbo húmedo = 20° C, entonces: Humedad relativa = 63%.

TABLA 13. Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 30 y 50°C) de bulbo seco y bulbo húmedo (0 msnm).

Temperatura de bulbo húmedo (°C)	Temperatura de bulbo seco (°C)																				
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
20	40	36	33	30	27	24	22	20	18	16	14	12	11	10	8	7	6	5	4	4	3
21	45	41	37	34	31	28	25	23	21	19	17	15	14	12	11	9	8	7	6	5	5
22	50	46	42	38	35	32	29	26	24	22	20	18	16	15	13	12	11	9	8	7	6
23	55	51	47	43	39	36	33	30	27	25	23	21	19	17	16	14	13	12	10	9	8
24	61	55	52	47	44	40	37	34	31	29	26	24	22	20	18	17	15	14	12	11	10
25	67	62	57	52	48	45	41	38	35	32	29	27	25	23	21	19	18	16	15	13	12
26	73	67	62	57	53	49	45	42	39	36	33	30	28	26	24	22	20	19	17	16	14
27	79	73	68	63	58	54	50	46	43	40	37	34	31	29	27	25	23	21	19	18	16
28	86	79	74	68	63	59	55	51	47	44	40	37	35	32	30	28	26	24	22	20	19
29	92	86	80	74	69	64	59	55	51	48	44	41	38	35	33	31	28	26	24	23	21
30	100	93	86	80	74	69	64	60	56	52	48	45	42	39	36	34	21	29	27	25	23
31	.	100	93	86	80	75	70	65	61	56	53	49	46	43	40	37	35	32	30	28	26
32	.	.	100	93	86	81	75	70	65	61	57	53	50	46	43	40	38	35	33	31	29
33	.	.	.	100	93	87	81	76	71	66	62	58	54	50	47	44	41	38	36	34	31
34	.	.	.	.	100	93	87	81	76	71	66	62	58	54	51	48	45	42	39	37	34
35	.	.	.	.	.	100	93	87	81	76	71	67	63	59	55	51	48	45	42	40	37
36	.	.	.	.	.	.	100	93	87	82	77	72	67	63	59	55	52	49	46	43	40
37	.	.	.	.	.	.	.	100	93	87	82	77	72	68	64	60	56	53	49	46	44
38	.	.	.	.	.	.	.	.	100	93	88	82	77	72	68	64	60	56	53	50	47
39	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	93	88	82	77	73	68	64	61	57	54	50
40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	88	83	78	73	69	65	61	57	54
41	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	88	83	78	73	69	65	61	58
42	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	88	83	78	74	69	66	62
43	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	88	83	78	74	70	66
44	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	88	83	79	74	70
45	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	89	84	79	75
46	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	89	84	79
47	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	89	84
48	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94	89
49	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	94
50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100

Ejemplo para la utilización de la tabla: Temperatura bulbo seco = 25° C, Temperatura bulbo húmedo = 20° C, entonces: Humedad relativa = 63%.

TABLA 14. Humedad relativa del aire como función de las temperaturas (entre 50 y 70°C) de bulbo seco y bulbo húmedo (0 msnm).

Temperatura de bulbo húmedo (°C)	Temperatura de bulbo seco (°C)																				
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
30	23	22	20	19	17	16	15	14	13	12	11	10	9	9	8	7	7	6	6	5	5
31	26	24	23	21	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	9	8	7	7	6	6
32	29	27	25	23	22	20	19	18	16	15	14	13	12	12	11	10	9	9	8	7	7
33	31	29	27	26	24	22	21	20	18	17	16	15	14	13	12	11	11	10	9	9	8
34	34	32	30	28	26	25	23	22	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	10	9
35	37	35	33	31	29	27	25	24	22	21	20	18	17	16	15	14	13	12	12	11	10
36	40	38	36	33	31	29	28	26	24	23	22	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
37	44	41	38	36	34	32	30	28	27	25	24	22	21	20	18	17	16	15	14	14	13
38	47	44	42	39	37	35	33	31	29	27	26	24	23	21	20	19	18	17	16	15	14
39	50	47	45	42	40	37	35	33	31	29	28	26	25	23	22	21	20	18	17	16	15
40	54	51	48	45	43	40	38	36	34	32	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17
41	58	55	51	48	46	43	41	38	36	34	32	31	29	27	26	24	23	22	21	19	18
42	62	58	55	52	49	46	44	41	39	37	35	33	31	29	28	26	25	24	22	21	20
43	66	62	59	55	52	49	47	44	42	39	37	35	33	32	30	28	27	25	24	23	22
44	70	66	63	59	56	53	50	47	45	42	40	38	36	34	32	30	29	27	26	25	23
45	75	70	67	63	59	56	53	50	48	45	43	40	38	36	34	33	31	29	28	26	25
46	79	75	71	67	63	60	57	54	51	48	46	43	41	39	37	35	33	31	30	28	27
47	84	79	75	71	67	64	60	57	54	51	48	46	44	41	39	37	35	34	32	30	29
48	89	84	80	75	71	68	64	61	57	54	52	49	46	44	42	40	38	36	34	32	31
49	94	89	84	80	76	72	68	64	61	58	55	52	49	47	44	42	40	38	36	34	33
50	100	94	89	84	80	76	72	68	65	61	58	55	52	50	47	45	43	41	39	37	35
51	.	100	94	89	85	80	76	72	68	65	62	59	56	53	50	48	45	43	41	39	37
52	.	.	100	94	89	85	80	76	72	69	65	62	59	56	53	51	48	46	43	41	39
53	.	.	.	100	94	89	85	81	76	73	69	66	62	59	56	54	51	48	46	44	42
54	.	.	.	.	100	94	90	85	81	77	73	69	66	63	60	57	54	51	49	46	44
55	.	.	.	.	.	100	94	90	85	81	77	73	69	66	63	60	57	54	52	49	47
56	.	.	.	.	.	.	100	94	90	85	81	77	73	70	66	63	60	57	55	52	50
57	.	.	.	.	.	.	.	100	95	90	85	81	77	74	70	67	63	60	58	55	52
58	.	.	.	.	.	.	.	.	100	95	90	86	81	77	74	70	67	64	61	58	55
59	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	95	90	86	82	78	74	70	67	64	61	58
60	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	100	95	90	86	82	78	74	71	67	64	61

Ejemplo para la utilización de la tabla: Temperatura bulbo seco = 50° C, Temperatura bulbo húmedo = 30° C, entonces: Humedad relativa = 23%.

TABLA 15. Cuadro de conversión de temperaturas de grados Celsius a grados Fahrenheit, y vice versa.

Temperatura			Temperatura		
Celsius	°C ó °F	Fahrenheit	Celsius	°C ó °F	Fahrenheit
-17.8	0	+32.0	+4.4	+40	+104.0
-17.2	+1	+33.8	+5.0	+41	+105.8
-16.7	+2	+35.6	+5.5	+42	+107.6
-16.1	+3	+37.4	+6.1	+43	+109.4
-15.6	+4	+39.2	+6.7	+44	+111.2
-15.0	+5	+41.0	+7.2	+45	+113.0
-14.4	+6	+42.8	+7.8	+46	+114.8
-13.9	+7	+44.6	+8.3	+47	+116.6
-13.3	+8	+46.4	+8.9	+48	+118.4
-12.8	+9	+48.2	+9.4	+49	+120.2
-12.2	+10	+50.0	+10.0	+50	+122.0
-11.7	+11	+51.8	+10.6	+51	+123.8
-11.1	+12	+53.6	+11.1	+52	+125.6
-10.6	+13	+55.4	+11.7	+53	+127.4
-10.0	+14	+57.2	+12.2	+54	+129.2
-9.4	+15	+59.0	+12.8	+55	+131.0
-8.9	+16	+60.8	+13.3	+56	+132.8
-8.3	+17	+62.6	+13.9	+57	+134.6
-7.8	+18	+64.4	+14.4	+58	+136.4
-7.2	+19	+66.2	+15.0	+59	+138.2
-6.7	+20	+68.0	+15.6	+60	+140.0
-6.1	+21	+69.8	+16.1	+61	+141.8
-5.5	+22	+71.6	+16.7	+62	+143.6
-5.0	+23	+73.4	+17.2	+63	+145.4
-4.4	+24	+75.2	+17.8	+64	+147.2

(continúa)

TABLA 15. (continuación)

Temperatura			Temperatura		
Celsius	°C ó °F	Fahrenheit	Celsius	°C ó °F	Fahrenheit
-3.9	+25	+77.0	+18.3	+65	+149.0
-3.3	+26	+78.8	+18.9	+66	+150.8
-2.8	+27	+80.6	+19.4	+67	+152.6
-2.2	+28	+82.4	+20.0	+68	+154.4
-1.7	+29	+84.2	+20.6	+69	+156.2
-1.1	+30	+86.0	+21.1	+70	+158.0
-0.6	+31	+87.8	+21.7	+71	+159.8
0	+32	+89.6	+22.2	+72	+161.6
+0.6	+33	+91.4	+22.8	+73	+163.4
+1.1	+34	+93.2	+23.3	+74	+165.2
+1.7	+35	+95.0	+23.9	+75	+167.0
+2.2	+36	+96.8	+24.4	+76	+168.8
+2.8	+37	+98.6	+25.0	+77	+170.6
+3.3	+38	+100.4	+25.6	+78	+172.4
+3.9	+39	+102.2	+26.1	+79	+174.2
+26.7	+80	+176.0	+46.1	+115	+239.0
+27.2	+81	+177.8	+46.7	+116	+240.8
+27.8	+82	+179.6	+47.2	+117	+242.6
+28.3	+83	+181.4	+47.8	+118	+244.4
+28.9	+84	+183.2	+48.3	+119	+246.2
+29.4	85	+185.0	+48.9	+120	+248.0
+30.0	+86	+186.8	+49.4	+121	+249.8
+30.6	+87	+188.6	+50.0	+122	+251.6
+31.1	+88	+190.4	+50.6	+123	+253.4
+31.7	+89	+192.2	+51.1	+124	+255.2
+32.2	+90	+194.0	+51.7	+125	+257.0
+32.8	+91	+195.8	+52.2	+126	+258.8
+33.3	+92	+197.6	+52.8	+127	+260.6
+33.9	+93	+199.4	+53.3	+128	+262.4
+34.4	+94	+201.2	+53.9	+129	+264.2

(continúa)

TABLA 15. (continuación)

Temperatura			Temperatura		
Celsius	°C ó °F	Fahrenheit	Celsius	°C ó °F	Fahrenheit
+35.0	+95	+203.0	+54.4	+130	+266.0
+35.6	+96	+204.8	+55.0	+131	+267.8
+36.1	+97	+206.6	+55.6	+132	+269.6
+36.7	+98	+208.4	+56.1	+133	+271.4
+37.2	+99	+210.2	+56.7	+134	+273.2
+37.8	+100	+212.0	+57.2	+135	+275.0
+38.3	+101	+213.8	+57.8	+136	+276.8
+38.9	+102	+215.6	+58.3	+137	+278.6
+39.4	+103	+217.4	+58.9	+138	+280.4
+40.0	+104	+219.2	+59.4	+139	+282.2
+40.6	+105	+221.0	+60.0	+140	+284.0
+41.1	+106	+222.8	+60.6	+141	+285.8
+41.7	+107	+224.6	+61.1	+142	+287.6
+42.2	+108	+226.4	+61.7	+143	+289.4
+42.8	+109	+228.2	+62.2	+144	+291.2
+43.3	+110	+230.0	+62.8	+145	+293.0
+43.9	+111	+231.8	+63.3	+146	+294.8
+44.4	+112	+233.6	+63.9	+147	+296.6
+45.0	+113	+235.4	+64.4	+148	+298.4
+45.6	+114	+237.2	+65.0	+149	+300.2
			+65.6	+150	+302.0

TABLA 16. Contenido energético de algunos combustibles.

Materia	Contenido energético	
Alcohol etílico	29,800	kJ/kg
Alcohol metílico	22,300	kJ/kg
Aserrín	2,500,000	kJ/m ³
Bagazo de caña de azúcar	15,000	kJ/kg
Carbón antracita	28,000	kJ/kg
Carbón bituminoso	27,000	kJ/kg
Carbón lignito	16,000	kJ/kg
Cáscarilla de arroz	12,000	kJ/kg
Coke	32,000	kJ/kg
Combustible diesel	39,000	kJ/litro
Gas butano	49,000	kJ/kg
Gas natural	35,700	kJ/m ³
Gas propano	50,000	kJ/kg
Gasolina	31,000	kJ/litro
Madera seca	18,000	kJ/kg
Petróleo diáfano	36,000	kJ/litro

TABLA 17. Conversión de fracciones de pulgada a milímetros.

Pulgadas			Pulgadas			Pulgadas		
Frac- ción	1/64	mm	Frac- ción	1/64	mm	Frac- ción	1/64	mm
-	1.0	0.40	1/8	8.0	3.18	-	19.5	7.74
1/32	2.0	0.79	-	8.5	3.37	5/16	20.0	7.94
1/25	-	1.02	-	9.0	3.57	-	20.5	8.14
1/24	-	1.06	-	9.5	3.77	-	21.0	8.33
1/23	-	1.10	5/32	10.0	3.97	-	21.5	8.53
1/22	-	1.15	-	10.5	4.17	11/32	22.0	8.73
-	3.0	1.19	-	11.0	4.37	-	22.5	8.93
1/21	-	1.21	-	11.5	4.56	-	23.0	9.13
1/20	-	1.27	3/16	12.0	4.76	3/8	24.0	9.53
1/19	-	1.34	-	12.5	4.96	-	25.0	9.92
1/18	-	1.41	-	13.0	5.16	13/32	26.0	10.32
1/17	-	1.49	-	13.5	5.36	-	27.0	10.72
1/16	4.0	1.59	7/32	14.0	5.56	7/16	28.0	11.11
1/15	-	1.69	-	14.5	5.75	-	29.0	11.51
1/14	-	1.81	-	15.0	5.95	15/32	30.0	11.91
1/13	-	1.95	-	15.5	6.15	-	31.0	12.30
-	5.0	1.98	1/4	16.0	6.35	1/2	32.0	12.70
1/12	-	2.12	-	16.5	6.55	9/16	36.0	14.29
-	5.5	2.16	-	17.0	6.75	5/8	40.0	15.88
3/32	6.0	2.38	-	17.5	6.95	3/4	48.0	19.05
-	6.5	2.58	9/32	18.0	7.14	13/16	52.0	20.64
-	7.0	2.78	-	18.5	7.34	7/8	56.0	22.23
-	7.5	2.98	-	19.0	7.54	1	64.0	25.40

TABLA 18. Dimensiones* de las perforaciones de las zarandas de alambre en pulgadas y sus equivalentes en milímetros.

Pulgadas	Milímetros
PERFORACIONES CUADRADAS	
3 x 3	7.259 x 7.259
4 x 4	5.750 x 5.750
5 x 5	4.496 x 4.496
8 x 8	2.692 x 2.692
10 x 10	2.083 x 2.083
12 x 12	1.684 x 1.684
15 x 15	1.313 x 1.313
16 x 16	1.308 x 1.308
17 x 17	1.138 x 1.138
18 x 18	1.054 x 1.054
20 x 20	0.940 x 0.940
22 x 22	0.851 x 0.851
24 x 24	0.780 x 0.780
26 x 26	0.699 x 0.699
28 x 28	0.653 x 0.653
30 x 30	0.643 x 0.643
32 x 32	0.567 x 0.567
34 x 34	0.543 x 0.543
36 x 36	0.503 x 0.503
38 x 38	0.465 x 0.465
40 x 40	0.432 x 0.432
50 x 50	0.356 x 0.356
60 x 60	0.262 x 0.262
PERFORACIONES RECTANGULARES (largo x ancho)	
3 x 14	7.703 x 1.422
3 x 16	7.703 x 1.283
3 x 20	7.702 x 0.914
4 x 16	5.866 x 1.333
4 x 18	5.590 x 1.133
4 x 20	5.588 x 0.914

(continúa)

TABLA 18. (continuación)

Pulgadas	Milímetros
PERFORACIONES RECTANGULARES (largo x ancho)	
4 x 30	5.855 x 0.516
4 x 32	5.855 x 0.465
4 x 36	5.855 x 0.465
6 x 15	3.393 x 1.263
6 x 20	3.584 x 0.889
6 x 24	3.622 x 0.704
6 x 26	3.661 x 0.622
6 x 28	3.698 x 0.577
6 x 30	3.737 x 0.516
6 x 32	3.737 x 0.491
6 x 34	3.737 x 0.467
6 x 36	3.737 x 0.427
6 x 38	3.737 x 0.389
6 x 40	3.737 x 0.381
6 x 50	3.850 x 0.305
6 x 60	3.850 x 0.246

* Datos aproximados ya que el diámetro del alambre puede variar.

TABLA 19. Número del calibre de alambres y láminas metálicas y su respectivo diámetro o espesor.

Calibre (No.)	Diámetro del alambre AWG* (mm)	Espesor de la lámina (mm)
0	8.26	-
4	5.18	5.69
8	3.25	4.17
12	2.06	2.67
14	1.63	1.92
16	1.30	1.52
18	1.02	1.21
20	0.81	0.91
21	0.72	0.84
22	0.64	0.76
23	0.57	0.68
24	0.51	0.61
25	0.45	0.53
26	0.40	0.48
28	0.32	0.40
30	0.25	0.32
32	0.20	0.26
34	0.16	0.22
36	0.13	0.18
38	0.10	0.16

* AWG = American Wire Gage

TABLA 20. Zarandas comunmente utilizadas en el acondicionamiento de semillas de diversos cultivos.

Especie	Diámetro del orificio (mm)	
	Desbrozadora	Clasificadora
Ajonjolí (<i>Sesamum orientale</i>)	2.50	1.50*
	2.40	6 x 24
	2.30	17 x 17
	1.30 x 13	
	1.40 x 13	
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	2.10	6 x 24
	2.00	6 x 26
	1.90	20 x 20
	1.80	
	1.70	
Algodón (desborrado) (<i>Gossypium hirsutum</i>)	8.00	3.50 x 19
	7.50	3.75 x 19
	7.00	4.00 x 19
	6.50	4.25 x 19
	6.00	4.50 x 19
Algodón (sin desborre) (<i>Gossypium hirsutum</i>)	16.00	5.5 x 19
	14.00	5.0 x 19
	12.00	4.5 x 19
<i>Andropogon gayanus</i>	9.50	1.70 x 13
	8.50	1.60 x 13
	7.50	1.50 x 13
	7.00	1.40 x 13
	6.50	1.30 x 13
	6.00	1.20 x 13

* Zarandas onduladas

(continúa)

Manual para el Beneficio de Semillas

TABLA 20. (continuación)

Especie	Diámetro del orificio (mm)	
	Desbrozadora	Clasificadora
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	6.00	2.50*
	5.50	1.90 x 13
	5.00	1.80 x 13
	4.70	1.70 x 13
	4.50	1.60 x 13
	3.00*	1.50 x 13
	2.40 x 19	1.30 x 13
	2.10 x 19	14 x 14
	6 x 6	(malla de alambre)
Arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	9.50	4.00 x 19
	9.00	3.75 x 19
	8.50	3.50 x 19
	8.00	3.25 x 19
	7.50	3.00 x 19
	7.00	2.75 x 19
Avena (<i>Avena sativa</i>)	7.50	2.10 x 19
	7.00	2.00 x 13
	6.50	1.90 x 13
	5.50	1.80 x 13
	5.00	1.70 x 13
	3.00 x 19	1.60 x 13
	3.50 x 19	1.50 x 13
	4.00 x 19	
<i>Brachiaria</i> spp.	5.00	1.40
	4.50	1.30
	4.00	1.20
	3.50	1.30 x 13
		1.20 x 13
	1.10 x 13	

* Zarandas onduladas

(continúa)

TABLA 20. (continuación)

Especie	Diámetro del orificio (mm)	
	Desbrozadora	Clasificadora
Capica	6.50	1.40
<i>(Stylosanthes capitata)</i>	5.50	1.30
	4.50	1.20
	4.00	1,10 x 13
	3.50	
	3.00	
Cebada	8.00	2.10 x 19
<i>(Hordeum vulgare)</i>	7.50	2.00 x 13
	7.00	1.90 x 13
	6.50	1.80 x 13
	6.00	1.70 x 13
	3.50 x 19	1.60 x 13
	4.00 x 19	
Cebolla (bulbo)	4.50	1.90
<i>(Allium cepa)</i>	4.00	1.80
	3.50	1.70
	3.00	1.60
	2.50	1.50
Centrosema spp.	4.50	2.10 x 19
	4.00	2.00 x 19
	3.50	1.90 x 19
		1.80 x 19
	1.70 x 19	
Festuca		
<i>(Festuca inermis)</i>	3.50	6 x 30
	3.00	6 x 32
	2.50	1.20 x 13
	2.00	1.10 x 13
	1.20 x 13	1.00 x 13
	1.15 x 13	

(continúa)

TABLA 20. (continuación)

Especie	Diámetro del orificio (mm)	
	Desbrozadora	Clasificadora
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	9.00	4.00 x 19
	8.50	3.75 x 19
	8.00	3.50 x 19
	7.50	3.25 x 19
	7.00	3.00 x 19
	2 x 2	5 x 5
Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	12.00	5.00
	11.00	4.50
	10.00	4.00
	9.00	3.50
	8.00	
Lenteja (<i>Ervum lens</i>)	7.50	6.25
	7.00	5.00
	6.50	4.75
	2.75 x 19	4.50
	3.00 x 19	4.25
Linaza (lino) (<i>Linum usitatissimum</i>)	4.00	2.10
	3.50	2.00
	3.00	1.90
	2.50	1.80
	3.00 x 19	1.70
	2.00 x 13	
Loto (<i>Lotus corniculatus</i>)	1.90	6 x 34
	1.80	1.15
	1.70	1.00
	1.60	1.00 x 13
	1.50	

(continúa)

TABLA 20. (continuación)

Especie	Diámetro del orificio (mm)	
	Desbrozadora	Clasificadora
Maíz (clasificación) (<i>Zea mays</i>)	10.00	5.00 x 19
	9.50	5.15 x 19
	9.13	5.35 x 19
	8.73	5.55 x 19
	8.33	
	7.93	
	7.53	
	7.14	
Maíz (limpieza) (<i>Zea mays</i>)	12.50	7.00
	12.00	6.50
	11.50	6.00
	11.00	5.50
	10.50	3.50 x 19
		3.25 x 19
Millo (<i>Sorghum vulgare</i>)	3.75	1.10 x 13
	3.50	1.20 x 13
	3.25	1.30 x 13
	3.00	1.40 x 13
	2.75	
Pepinillo (<i>Cucumis sativus</i>)	8.00	4.00
	7.50	3.50
	7.00	3.00
	6.50	2.50
	6.00	

(continúa)

TABLA 20. (continuación)

Especie	Diámetro del orificio (mm)	
	Desbrozadora	Clasificadora
Raigras y Festuca	3.50	6 x 30
(<i>Lolium multiflorum</i> y	3.00	6 x 32
Festuca inermis)	2.50	1.20 x 13
	2.00	1.10 x 13
	1.20 x 13	1.00 x 13
	1.15 x 13	
Setaria	2.00	6 x 32
(<i>Setaria</i> spp.)	1.90	1.10
	1.80	1.00
	1.70	
	1.60	
Sorgo	7.00	2.20 x 19
(<i>Sorghum vulgare</i>)	6.00	2.00 x 19
	5.00	1.80 x 19
	4.50	3.15
	4.00	
Soya	10.0	4.50 x 19
(<i>Glycine max</i>)	9.5	4.25 x 19
	9.0	4.00 x 19
	8.5	3.75 x 19
	8.0	3.50 x 19
	7.5	3.25 x 19
		3.00 x 19
Tomate	4.50	1.80
(<i>Lycopersicum esculentum</i>)	4.00	1.70
	3.50	1.60
	1.70 x 13	1.50
	1.60 x 13	
	1.50 x 13	

(continúa)

TABLA 20. (continuación)

Especie	Diámetro del orificio (mm)	
	Desbrozadora	Clasificadora
Trébol blanco (<i>Trifolium</i> sp.)	2.00	1.15
	1.90	1.00
	1.80	0.75
	1.70	1.0 x 13
	1.60	6 x 26
Trébol subterráneo (<i>Trifolium pratense</i>)	4.00	1.80 x 13
	3.50	1.70 x 13
	3.00	1.60 x 13
	2.50	1.50 x 13
	2.00	
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	6.00	1.90 x 19
	5.50	1.80 x 19
	5.00	1.75 x 19
	4.75	1.70 x 19
	4.50	1.60 x 19
	4.25	1.50 x 19
	3.50 x 19	
Vigna (<i>Vigna catjang</i>)	9.00	4.00
	8.00	3.50
	7.00	3.00
	6.00	3.00 x 19
	5.00	3.50 x 19
	4.00 x 19	

TABLA 21. Separaciones más comunes realizadas con el cilindro indentado.

Cultivo*	Diámetro de la indentación del cilindro (mm)	Material que levanta	Material que no levanta
Arroz	7.50	Arroz partido, <i>Aeschynomene</i> spp.	Arroz entero
	8.00		
	9.00		
	9.50		
	10.01		
Loto, Trébol	1.6	Semilla de loto y trébol	<i>Plantago major</i>
Trigo	4.50	Trigo partido o de grano corto, <i>Raphanus raphanistrum</i>	Trigo entero
	5.00		
	5.50		
	7.50	Trigo entero	Avena
	8.00		

* *Oryza sativa*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium* spp., *Triticum aestivum*

TABLA 22. Separaciones más comunes realizadas con discos alveolados.

Tipo de alvéolo o bolsillo	Material que levanta	Material que no levanta
V2 1/2	<i>Trifolium hybridum</i> , <i>Pharus pratense</i> , <i>Trifolium repens</i>	<i>Plantago lanceolata</i> , <i>Cirsium arvense</i>
V3	<i>Trifolium pratense</i> , <i>Medicago alba</i> pequeño	<i>Onopordum</i> spp., <i>Cirsium</i> spp., <i>Cnicus</i> spp. residuos de cosecha (tallos)
V3 1/2 V3 3/4	Alfalfa, <i>Medicago alba</i> , <i>Brachiaria mutica</i>	<i>Panicum repens</i> descascarado; <i>Onopordum</i> spp., <i>Cirsium</i> spp., o <i>Cnicus</i> spp. grandes, <i>Linum usitatissimum</i>
V4	<i>Brachiaria mutica</i> , <i>Brassica</i> spp., <i>Agrostemma githago</i> pequeño, granos pequeños partidos	Trigo, Cebada, <i>Linum usitatissimum</i> grande
V4 1/2 V5 V5 1/2	<i>Polygonum convolvulus</i> , <i>Agrostemma githago</i> grande, <i>Vicia sativa</i> , granos partidos, bulbos de cebollas silvestres	Trigo, avena, cebada, centeno
V5 3/4 V6 V6 1/2	<i>Linum usitatissimum</i> , <i>Agrostemma githago</i> de granos muy grandes, <i>Vicia sativa</i> , trigo partido muy pequeño, <i>Polygonum convolvulus</i> grande	<i>Panicum repens</i> sin descascarar, trigo, cebada, avena, centeno
R3 1/2 R3 3/4 R4	<i>Brachiaria mutica</i> , <i>Brassica</i> spp., <i>Polygonum</i> spp. <i>Melinis minutiflora</i> , <i>Plantago lanceolata</i>	<i>Linum usitatissimum</i> , <i>Festuca</i> spp., <i>Lolium multiflorum</i>
R4 1/2 R5 R5 1/2 R6	Semillas pequeñas, granos partidos, especies silvestres de <i>Fagopyrum</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Plantago lanceolata</i>	Trigo, cebada, avena, centeno, <i>Festuca arundinacea</i> , <i>Bromus</i> spp.

(Continúa)

TABLA 22. (Continuación).

Tipo de alvéolo o bolsillo	Material que levanta	Material que no levanta
K L	Especies silvestres de <i>Fagopyrum</i> de grano grande, trigo partido, cebada partida	Trigo, cebada, avena, centeno
M AC EE	<i>Triticum durum</i> pequeño o partido, cebada pelada o partida, <i>Festuca</i> spp.,	<i>Triticum durum</i> , cebada, avena
J	<i>Triticum durum</i> , <i>Festuca</i> var. Kentucky 31 <i>Festuca arundinacea</i>	Avena, avena silvestre, cebada
A MM	Trigo, <i>Triticum durum</i> , cebada pequeña, avena descascarada, centeno, <i>Carthamus tinctorius</i>	Avena, avena silvestre
B	Cebada	Avena, avena silvestre, residuos de cosecha (tallos)
RR-SS DD	Cebada despuntada, avena y otros granos más cortos	Residuos de cosecha (ramas, tallos)
AE-AD SS-DD	Maní	Residuos de cosecha (ramas, tallos)

TABLA 23. Velocidad calculada de la banda del elevador de cangilones para diferentes diámetros de la polea motriz.

Diámetro de la polea motriz (D*)		Velocidad de la polea (N*)	Velocidad de la banda (V*)
(m)	(plg)	(rpm)	(m/seg)
0.10	4	134	0.70
0.13	5	119	0.79
0.15	5	119	0.79
0.18	7	100	0.93
0.20	8	95	0.99
0.23	9	88	1.06
0.25	10	85	1.11
0.28	11	80	1.17
0.30	12	77	1.21
0.33	13	74	1.27
0.36	14	70	1.33
0.38	15	69	1.36
0.41	16	66	1.42
0.43	17	64	1.45
0.46	18	62	1.50
0.48	19	61	1.53
0.51	20	59	1.58
0.56	22	56	1.66
0.61	24	54	1.73
0.76	30	48	1.93

* Esta tabla presenta los valores de D y N requeridos para que la velocidad de la banda (V) permita descargar la semilla suavemente de los cangilones, minimizando el daño físico. Note que a un mayor diámetro de la polea, corresponde una mayor velocidad de la banda y por consiguiente una mayor capacidad del elevador. Debido a deslizamientos de la banda en la polea motriz, y a diferencias en el tamaño de los cangilones, la velocidad real de la banda puede ser un poco diferente al valor calculado.

TABLA 24. Área requerida (m^2/t) para el almacenamiento de semilla en bolsas según diferentes alturas y diferentes pesos volumétricos.

Altura del arrume (m)	Peso volumétrico de la semilla (t/m^3)						
	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
1.0	7.500	5.000	3.750	3.000	2.500	2.143	1.875
1.5	5.000	3.333	2.500	2.000	1.667	1.429	1.250
2.0	3.750	2.500	1.875	1.500	1.250	1.071	0.938
2.5	3.000	2.000	1.500	1.200	1.000	0.857	0.750
3.0	2.500	1.667	1.250	1.000	0.833	0.714	0.625
3.5	2.143	1.429	1.071	0.857	0.714	0.612	0.536
4.0	1.875	1.250	0.938	0.750	0.625	0.536	0.469
4.5	1.667	1.111	0.833	0.667	0.556	0.476	0.417
5.0	1.500	1.000	0.750	0.600	0.500	0.429	0.375

Nota: Esta tabla incluye un 50% de área adicional para los pasillos y la separación entre lotes.

EJEMPLO: ¿Qué área se necesita para almacenar 3000 t de semilla de arroz empacada en bolsas y colocada en arrumes de 4 m de altura? Para semilla de arroz ($0.6 t/m^3$) acomodada en arrumes de 4 m. El área requerida es de 0.625 m^2 . Por tanto, se necesitan:

$$3000 t \times 0.625 m^2/t = 1875 m^2$$

Conociendo el área disponible, también es posible calcular la capacidad de la bodega:

¿Cuánta semilla de maíz ($0.7 t/m^3$) en arrumes de 5 m de altura se puede almacenar en 3000 m^2 ? En la tabla encontramos que se necesitan 0.429 m^2/t de maíz, entonces:

$$\frac{3000}{0.429} = 6933 t$$

TABLA 25. Conductividad térmica de varios materiales.

	Conductividad térmica Material (W/m/°C)
Asbesto cemento	0.576
Arena	0.325
Aserrín	0.066
Cartón	0.260
Cemento (con arena y grava)	0.722
Cemento (repello)	0.433
Ceniza	0.071
Concreto	1.731
Corcho	0.043
Cuero	0.159
Fibra de vidrio	0.047
Ladrillo	0.722
Madera	0.116
Mármol	2.597
Papel	0.130
Poliestireno (expandido)	0.035
Pulpa de madera	0.040
Tierra	0.061
Uretano (expandido)	0.023
Vidrio	0.721

La resistividad térmica se puede calcular conociendo la conductividad térmica del material y el espesor de la capa de material que se va a utilizar:

$$R = \frac{X}{K}$$

R = Resistividad térmica del material (m² °C/W)

X = Espesor de la capa del material (m)

TABLA 26. Angulo en grados de la arista formada por dos planos inclinados.

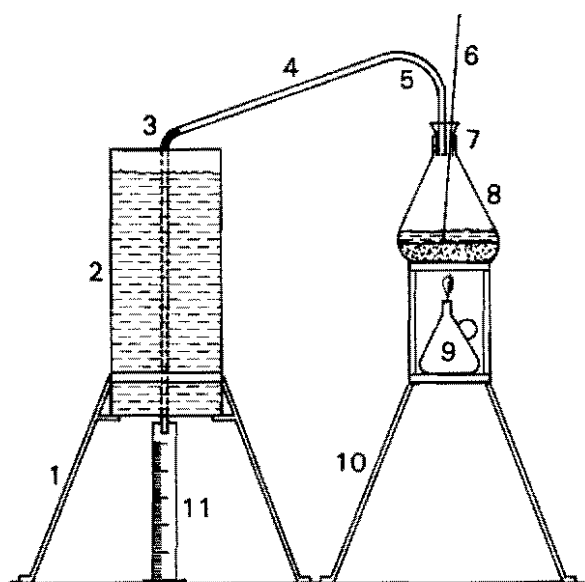
	Angulo											
	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°
30°	22.25	24.00	25.50	26.75	27.75	28.50	28.75	29.25	29.50	29.75	29.75	30.00
35°	24.00	26.25	28.25	30.00	31.25	32.25	33.00	33.75	34.25	34.50	34.75	35.00
40°	25.50	28.25	31.00	33.00	34.75	36.00	37.25	38.00	38.75	39.25	39.75	40.00
45°	26.75	30.00	33.00	35.50	37.50	39.50	41.00	42.25	43.25	44.00	44.75	45.00
50°	27.75	31.25	34.75	37.50	40.25	42.50	44.50	46.25	47.50	48.50	49.50	49.75
55°	28.50	32.25	36.00	39.50	42.50	45.25	47.75	50.00	51.75	53.00	54.25	54.75
60°	28.75	33.00	37.25	41.00	44.25	47.75	50.50	53.25	55.50	57.50	59.00	59.50
65°	29.25	33.75	38.00	42.25	46.25	50.00	53.25	56.50	59.75	61.75	63.50	64.25
70°	29.50	34.25	38.75	43.25	47.50	51.75	55.50	59.75	62.75	65.75	68.00	69.00
75°	29.75	34.50	39.25	44.00	48.50	53.00	57.50	61.75	65.75	69.50	72.50	74.00
80°	29.75	34.75	39.75	44.75	49.50	54.25	59.00	63.50	68.00	72.50	76.00	78.50
85°	30.00	35.00	40.00	45.00	49.75	54.75	59.50	64.25	69.00	74.00	78.50	82.75

Nota: Para materiales brozosos el ángulo de la arista debe ser de por lo menos 60°; para semillas de grano el ángulo de la arista debe ser por lo menos de 45°. Ejemplo: Si una de las caras tiene 50°, la otra debe tener 65° para que la arista tenga 46.25°, y la semilla fluya de la tolva

XIII Figuras

1. Determinador de humedad.
2. Tabla para calcular la pérdida de peso de la semilla después del secamiento.
3. Formulario para reportes de beneficio.
4. Curvas de contenido de humedad en equilibrio calculadas con la ecuación de Roa.
5. Sistemas de secamiento natural.
6. Secador estacionario de fondo falso.
7. Sistema de secado en túnel.
8. Fórmulas geométricas.
9. Diagrama de Schedd. Resistencia de las semillas al paso del aire.
10. Construcción de un manómetro en "U".
11. Carta sicrométrica.
12. Sicrómetro de voleo.
13. Secador intermitente rápido.
14. Funcionamiento de las zarandas desbrozadora y clasificadora.
15. Zaranda ondulada.
16. Distribución del material en la plataf
17. Tratadora manual.

18. Detalles importantes para el diseño de un elevador de cangilones para semillas.
19. Tipos de amortiguadores.
20. Migración de humedad en un silo de almacenamiento.
21. Conformación de arrumes dentro de una bodega de almacenamiento.
22. Diagrama de un cuarto frío y seco para el almacenamiento de semillas.



1. Soporte para la cámara de condensación
2. Cámara de condensación (30 cm x 13 cm)
3. Tubo de condensación (preferiblemente de cobre)
4. Tubo de conexión (plástico o caucho)
5. Tubo curvo (preferiblemente de cobre)
6. Termómetro (200°C)
7. Tapón de caucho
8. Frasco Erlenmeyer (500 ml)
9. Mechero (fuente de calor)
10. Soporte para el mechero y el Erlenmeyer
11. Probeta graduada (ml)

Figura 1. Determinador de humedad.

Contenido final
de humedad %

Contenido Inicial
de humedad %

% de pérdida de peso
a partir del peso inicial

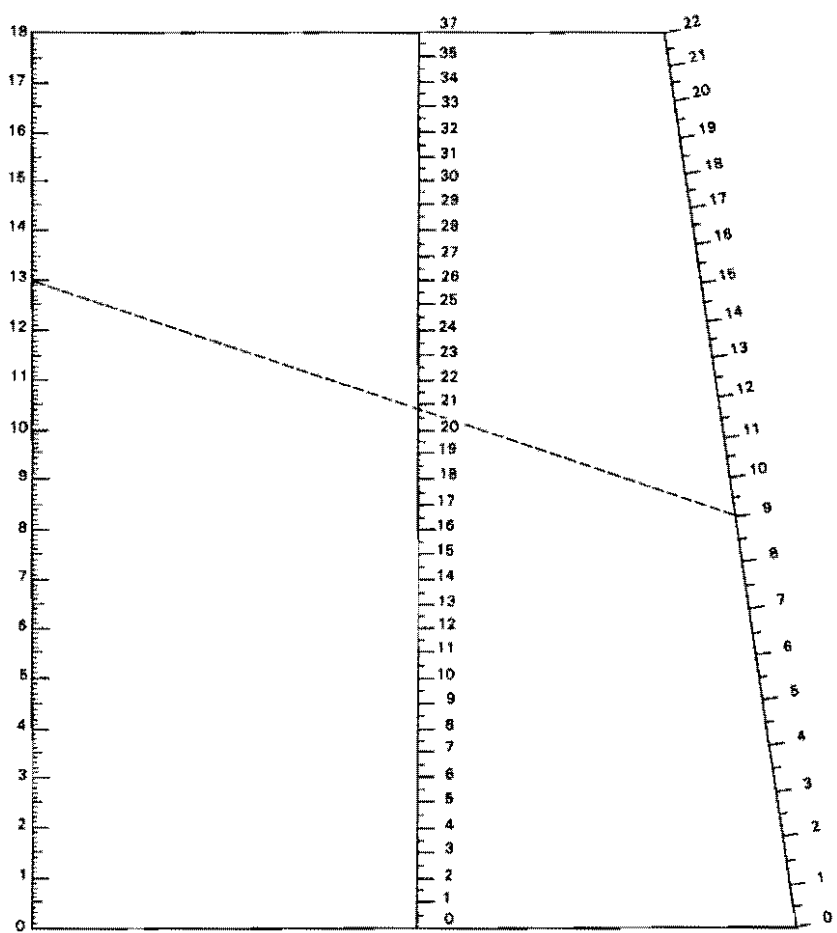


Figura 2. Tabla para calcular la pérdida de peso de la semilla después del secamiento.

LOTE NO. 7360
 ESPECIE O. SATIVA VARIEDAD ORYZICA 3 CATEGORIA BASICA
 PRODUCTOR J. PEREZ SECCION _____ LUGAR COSECHA LOTE P4
 PRESUPUESTO _____ INSTITUCION SEMISUR FECHA COSECHA 14 AGT/87
 ENTREGADA POR CARLOS VILLEGAS RECIBIDO POR JORGE V.

CALIDAD	FECHA	PESO (kg)	No. SACOS	HUMEDAD	PUREZA	VIABILIDAD	CODIGO LAB.	OBSERVACIONES
PRE-BENEFICIO	AGT 14/15	7559	132	23.21	93.6	93	1217	INCLUYE 66 KG EMPAQUES
POS-BENEFICIO	AGT 31	5392	108	12.80	99.7	96	1937	PESO NETO

OPERACIONES PRELIMPIEZA ACONDICIONAMIENTO SELECCION MANUAL ALMACENAMIENTO
 A REALIZAR SECAMIENTO CLASIFICACION TRATAMIENTO _____

CONTROL DE INVENTARIO

FECHA	OPERACION	CANTIDAD (kg)			UBICACION	OBSERVACIONES - CONTROL DE CALIDAD
		INICIAL	SALIDA	SALDO		
AGT.14	INGRESO	—	—	7559	PLANTA	INGRESO PARA BENEFICIO
AGT.31	BENEFICIO	7559	2167	5392	F28 BODEGA	PERDIDAS POR SECAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO
SPT.8	DESPECHO	5392	4300	1092	F28 BODEGA	ORDEN DE SALIDA DSP 4187
SPT.11	DESPECHO	1092	1050	42	B3 BODEGA	ORDEN DE SALIDA DSP 5387

Figura 3. Formulario para reporte de beneficio.

BENEFICIO REALIZADO

FECHA	OPERACION	PESO SEMILLA (kg)		PESO RESIDUO (kg)		OPERACION		CONTROL INTERNO DE CALIDAD				
		EQUIPO UTILIZADO	INICIAL	FINAL	GRANO COMERC.	BASURA	HORAS	RENDI- MIENTO	HUMEDAD	PUREZA	DARO MECANICO	PESO VOLU- METRICO	VIARI- LIDAD
<u>AGT</u> <u>14/15</u>	<u>PRELIMPIEZA</u>	<u>7493</u>	<u>7245</u>	<u>—</u>	<u>248</u>	<u>2</u>	<u>97</u>	<u>23.21</u>	<u>93.6</u>			
<u>AGT</u> <u>14/15</u>	<u>SECAMIENTO</u>	<u>7245</u>	<u>6318</u>	<u>—</u>	<u>DELTA</u> <u>927</u>	<u>30</u>	<u>87</u>					
<u>AGT</u> <u>30</u>	<u>MAZ X29</u>	<u>6318</u>	<u>5922</u>	<u>340</u>	<u>56</u>	<u>8</u>	<u>94</u>	<u>12.80</u>				
<u>AGT</u> <u>30</u>	<u>SEP. DISCOS</u>	<u>5922</u>	<u>5838</u>	<u>84</u>	<u>—</u>	<u>8</u>	<u>98</u>					
<u>AGT</u> <u>30</u>	<u>MESA DE GRAVEDAD</u>	<u>5838</u>	<u>5392</u>	<u>446</u>	<u>—</u>	<u>8</u>	<u>92</u>				<u>12%</u>	
<u>AGT</u> <u>30</u>	<u>TRAYADORA</u>	<u>5392</u>	<u>5392</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>6</u>			<u>99.7</u>			
TOTAL				<u>870</u>	<u>1231</u>		<u>72</u>					

INSUMOS UTILIZADOS	COMBUSTIBLE	<u>PROPANO</u>	<u>85</u> (kg)	CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA	FECHA	HORA	KWH
	INSECTICIDA	_____	<u>216</u> (ml)	LECTURA INICIAL	_____	_____	_____
	FUNGICIDA	_____	<u>8</u> (kg)	LECTURA FINAL	_____	_____	_____
	EMPAQUES	<u>POLIPROPILENO</u>	<u>108</u> (u.)				

ORDEN DE SALIDA 37456 DE SEPT. 11

FACTURA NO. _____ DE _____

OBSERVACIONES ZORRODAS 5.75, 1.59x13, 2.12x13, 1.69x13

SUPERVISOR DE PLANTA

JEFE DE PLANTA

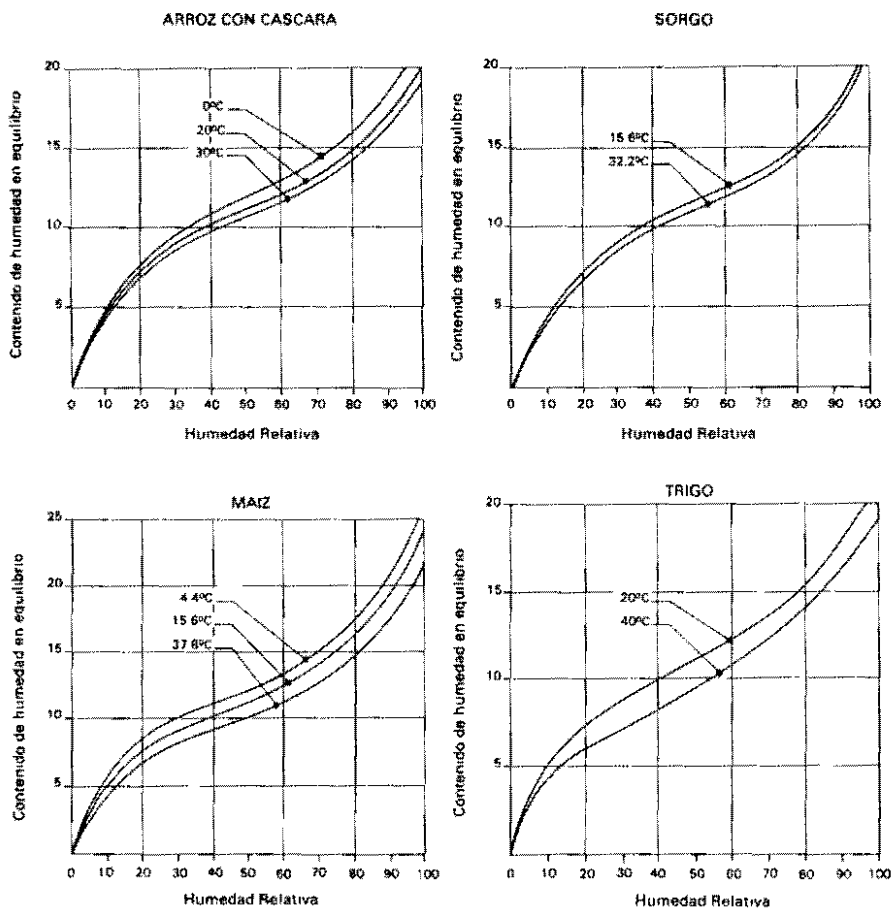


Figura 4. Curvas de contenido de humedad en equilibrio calculadas con la ecuación de Roa.

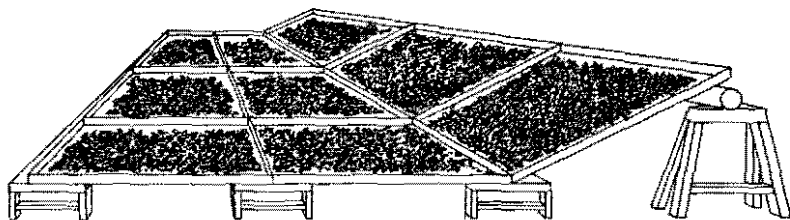
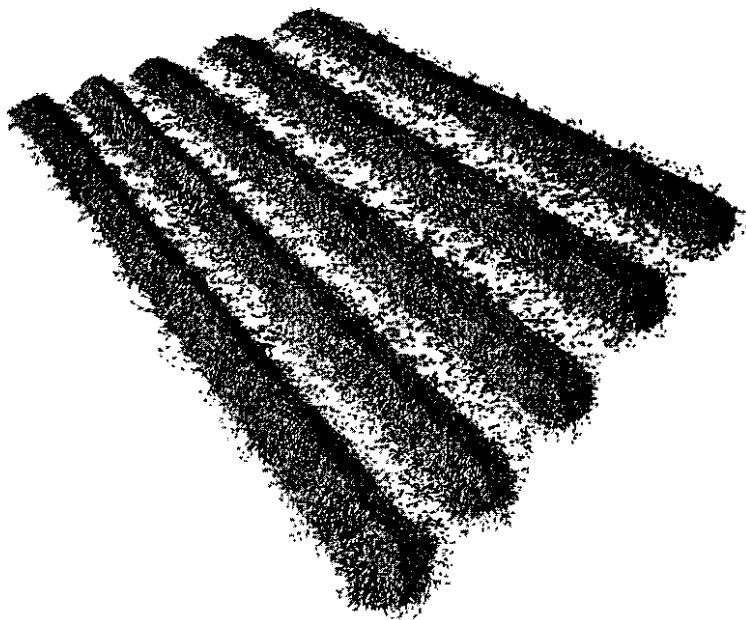


Figura 5. Sistemas de secamiento natural.

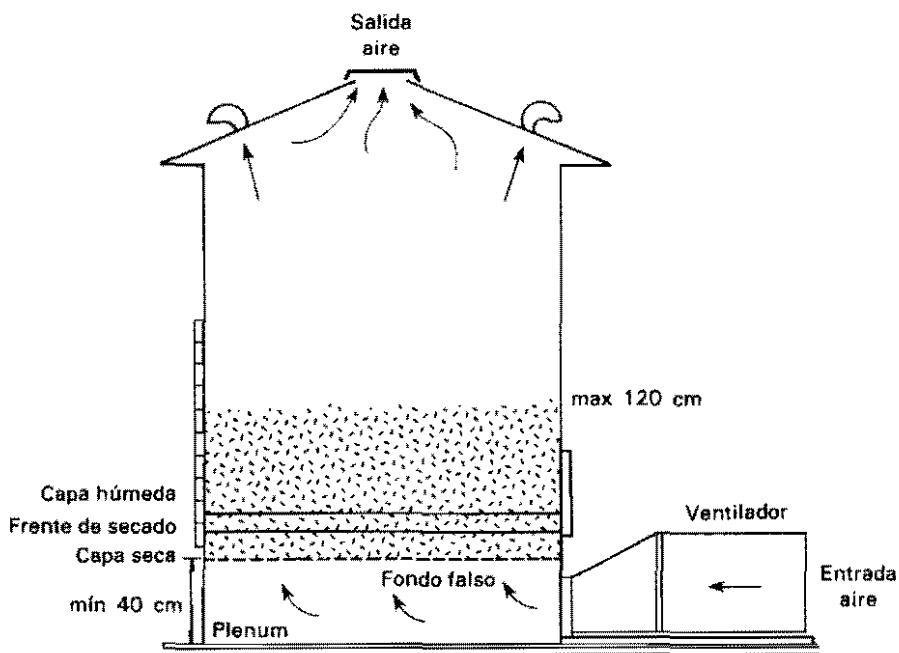


Figura 6. Secador estacionario de fondo falso.

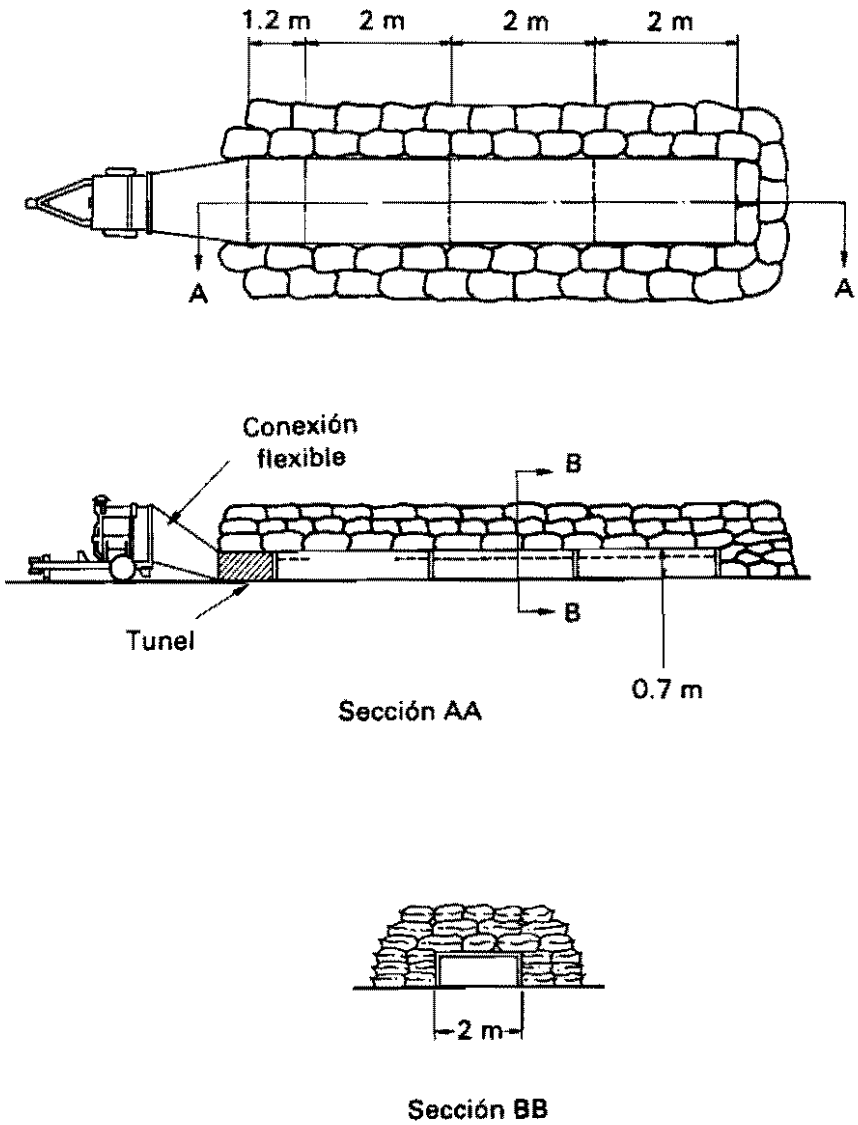


Figura 7. Sistema de secado en tunel.

FORMULAS GEOMETRICAS

TRIANGULO		Area = $bh/2$
RECTANGULO		Area = bh
TRAPECIO		Area = $(B + b) h/2$
CIRCULO		Area = πr^2
PARALELIPEDO		Volumen = abh
CONO Y PIRAMIDE		Volumen = $Ah/3$ A = Area de la base
CILINDRO		Volumen = Ah A = Area de la base
ESFERA		Volumen = $4\pi r^2/3$

Figura 8. Fórmulas geométricas.

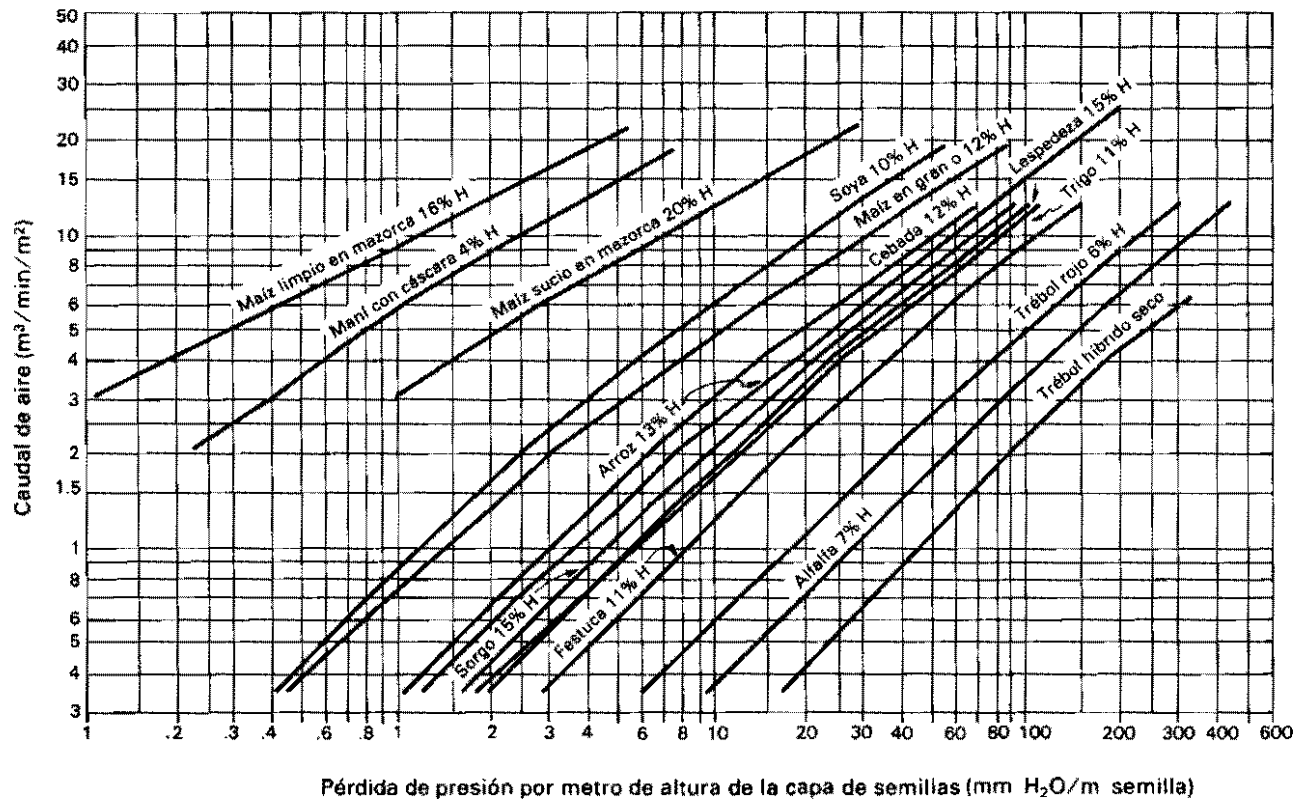


Figura 9. Resistencia de las semillas al paso del aire.

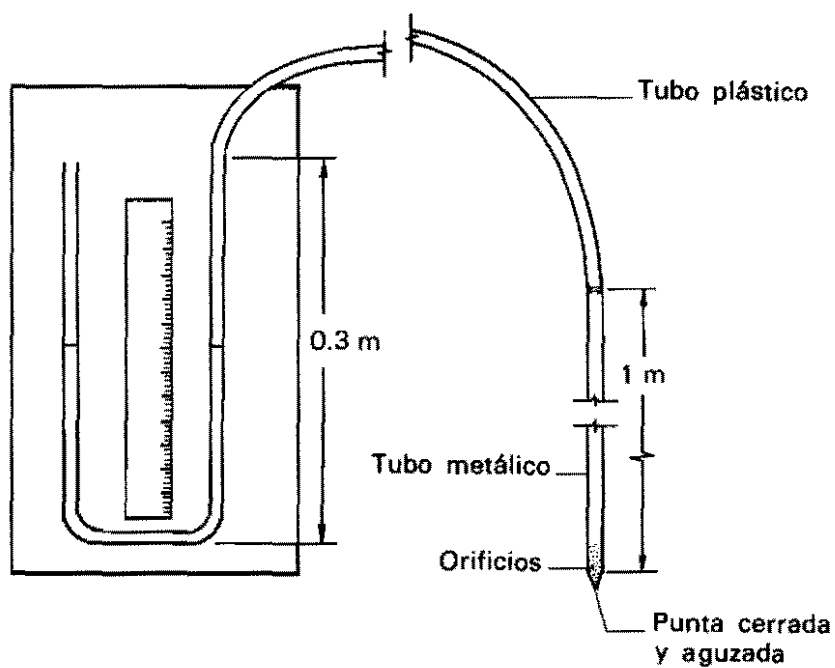


Figura 10. Construcción de un manómetro en "U".

CARTA SICROMETRICA
NIVEL DEL MAR
SISTEMA INTERNACIONAL
DE UNIDADES

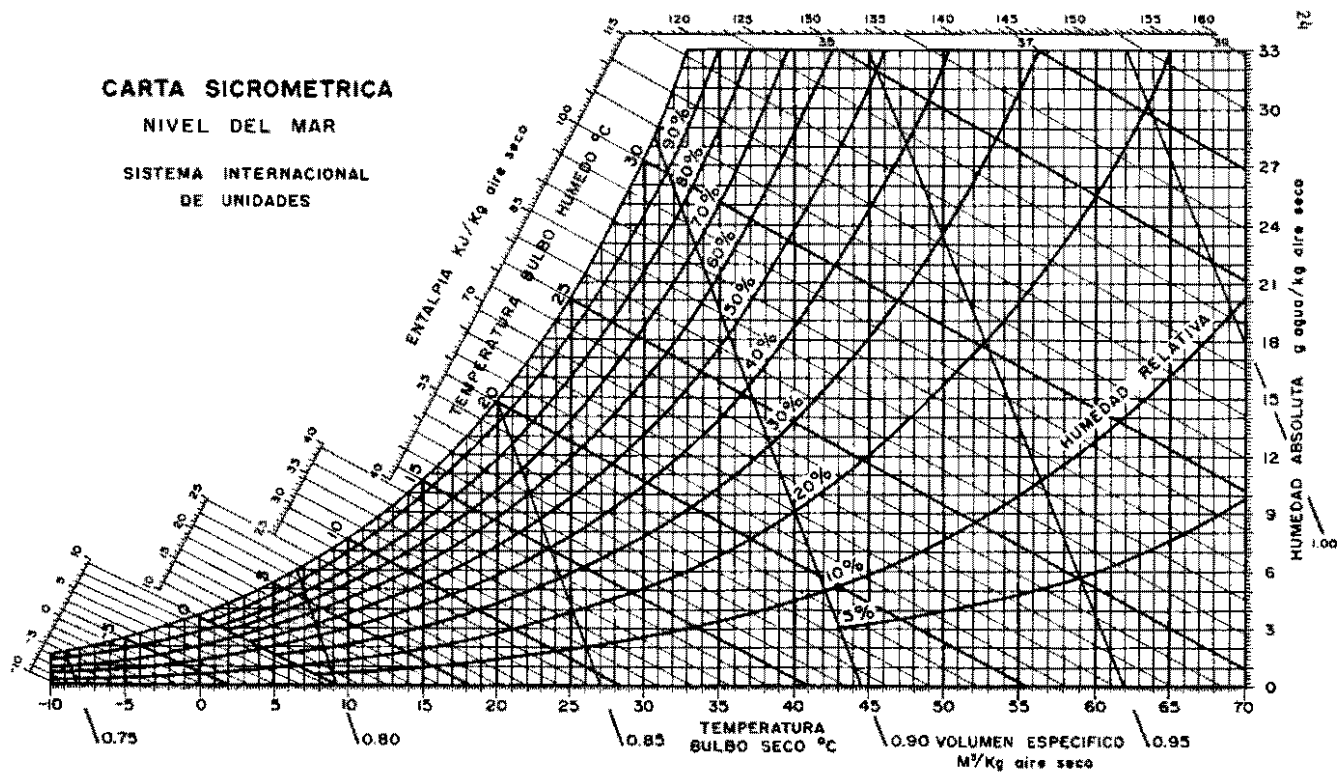


Figura 11. Carta sicrométrica.

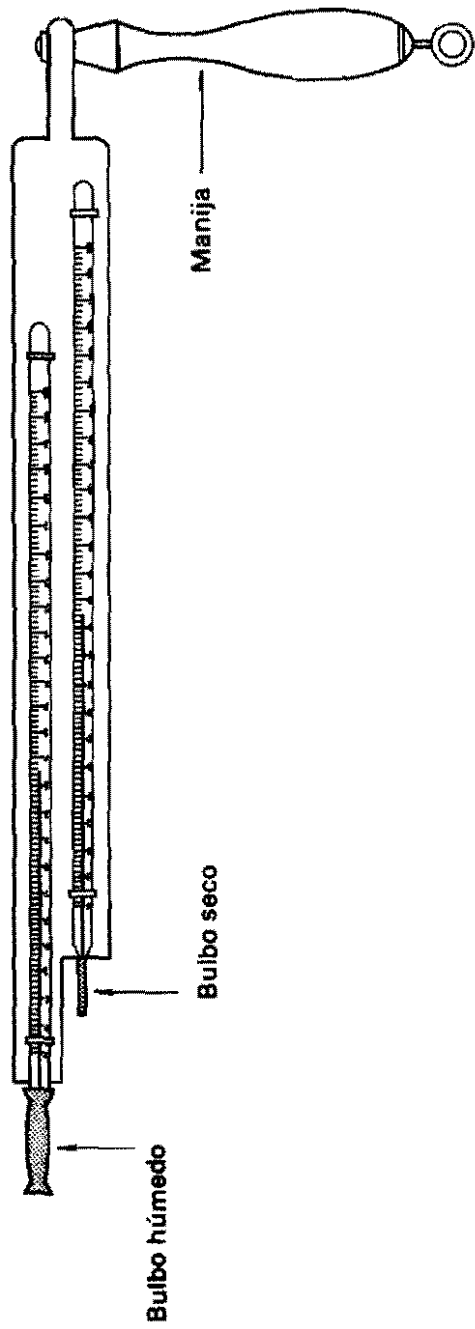


Figura 12. Sicrómetro de voleo.

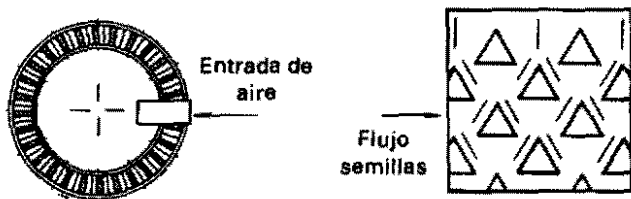
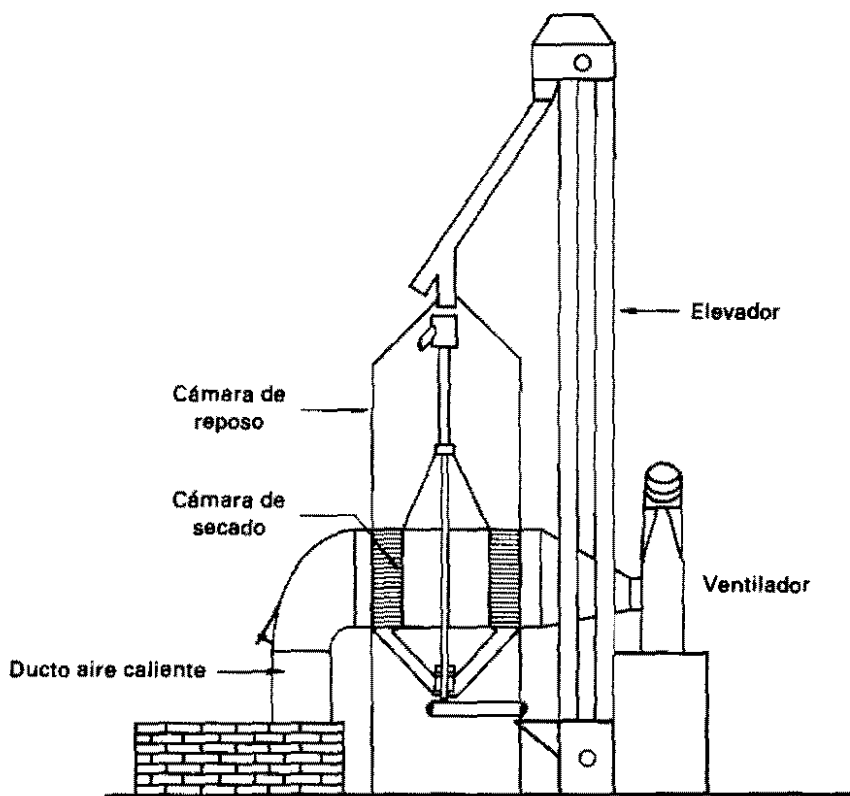


Figura 13. Secador intermitente rápido.

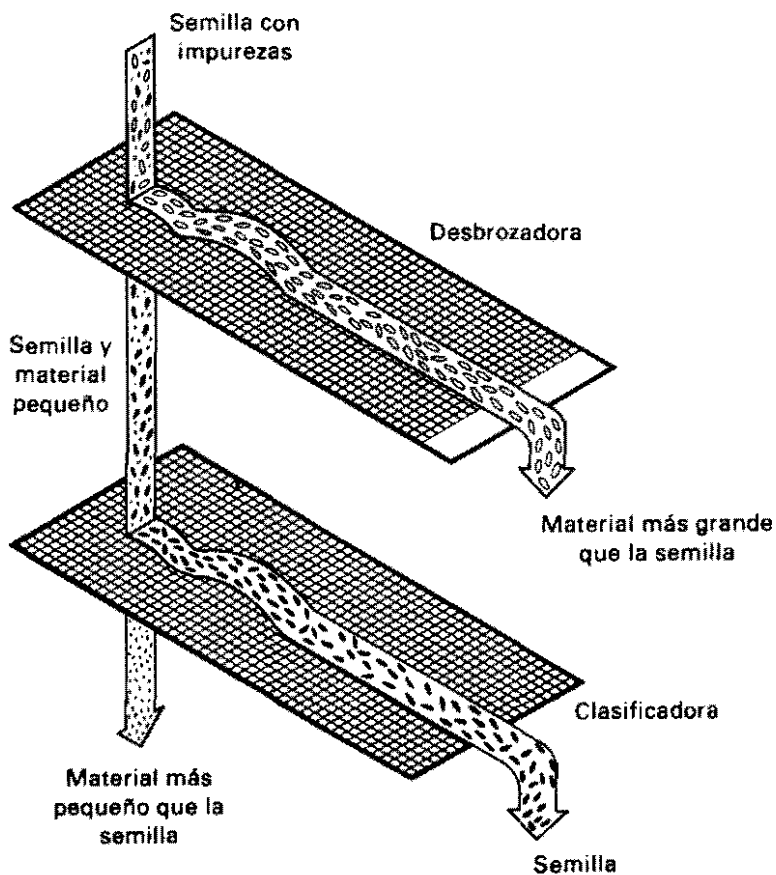


Figura 14. Funcionamiento de las zarandas desbrozadora y clasificadora.

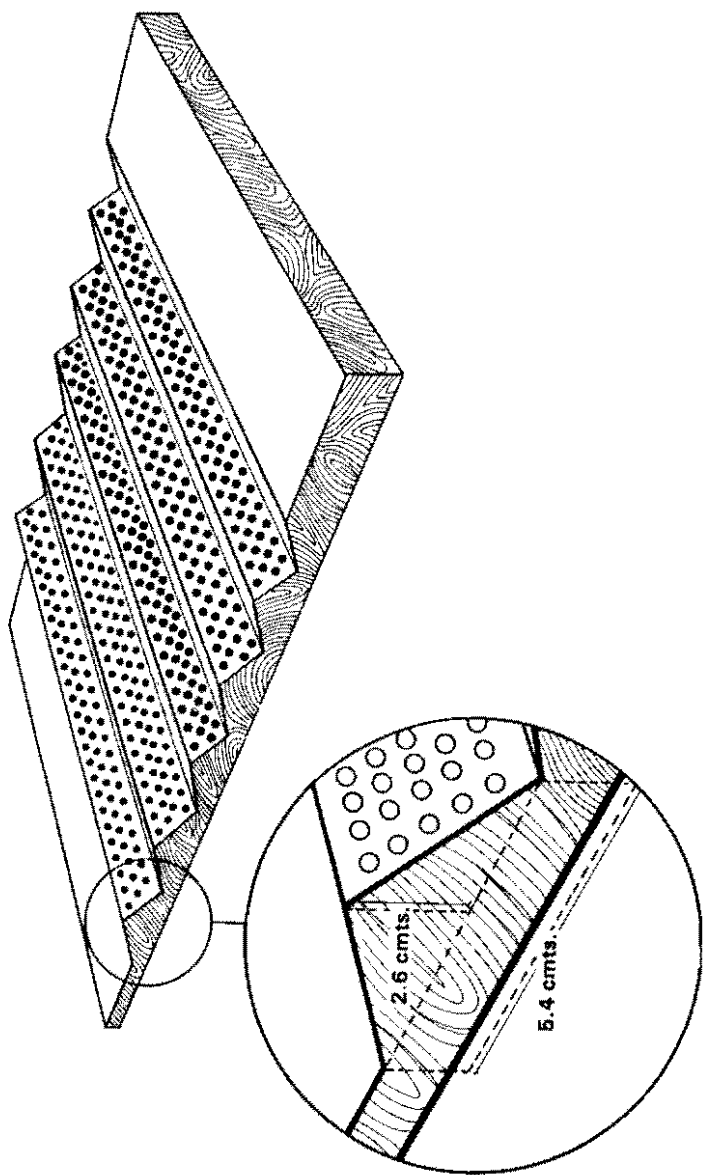


Figura 15. Zaranda ondulada.

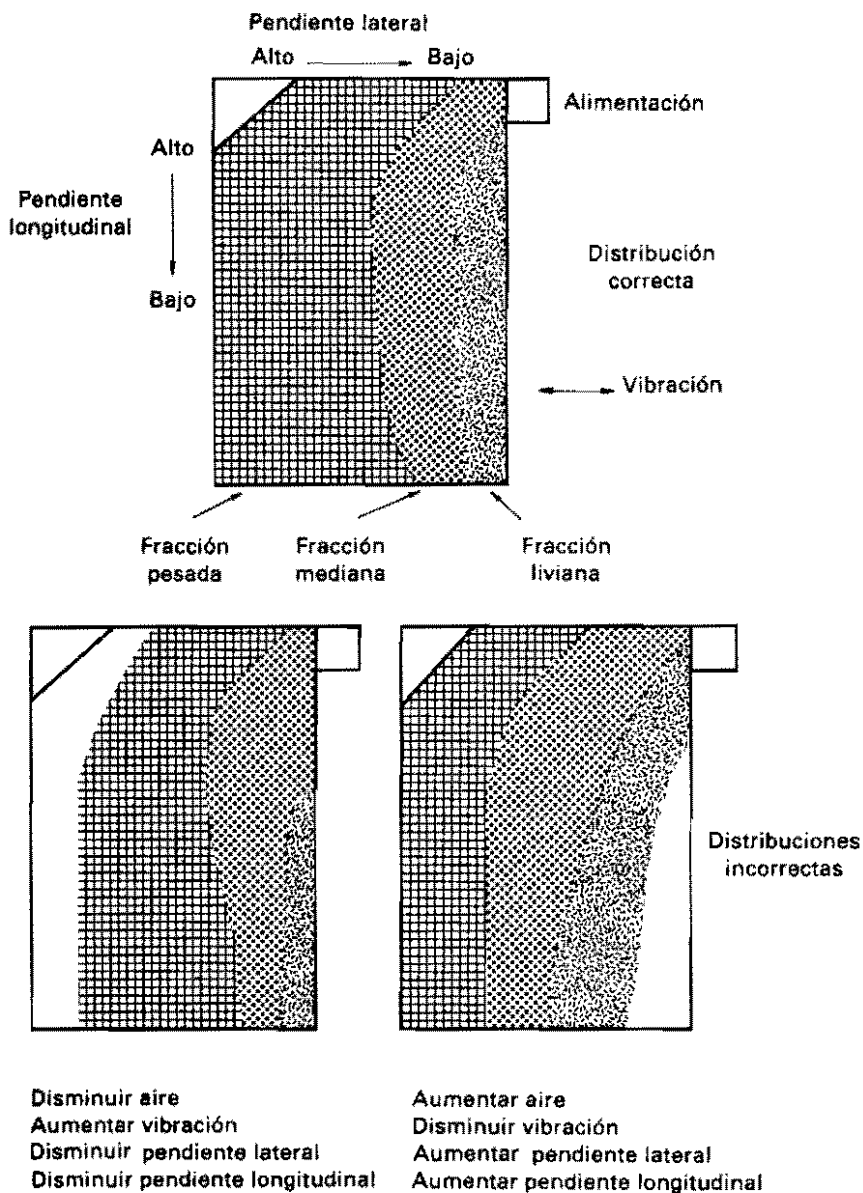


Figura 16. Distribución del material en la plataforma de la mesa de gravedad.

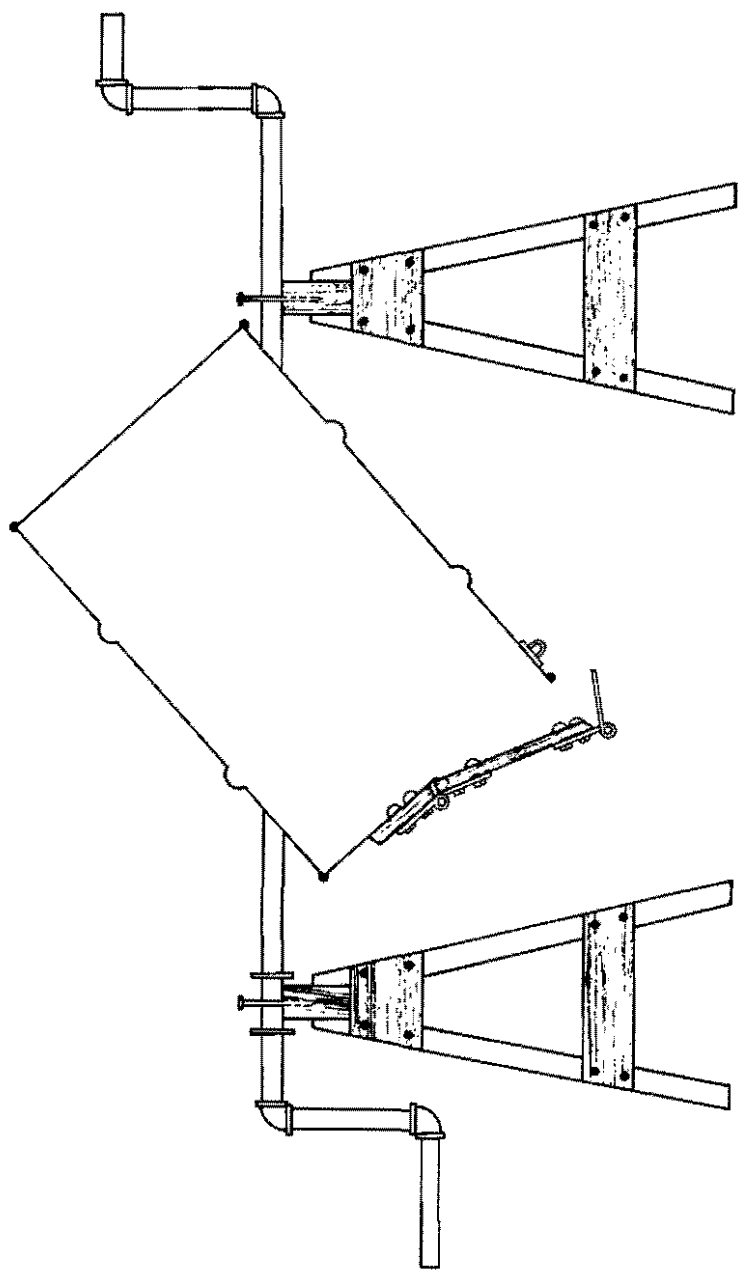


Figura 17. Tratadora manual.

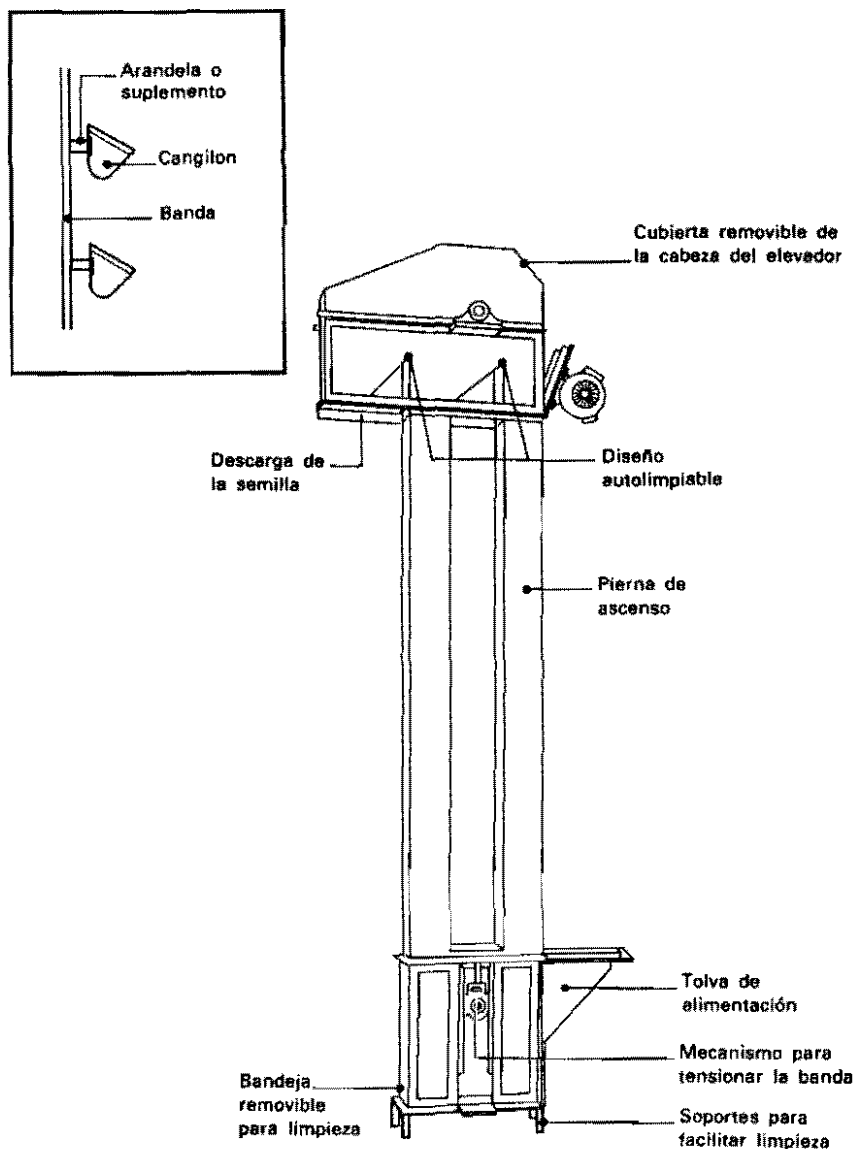


Figura 18. Detalles importantes para el diseño de un elevador de cangilones para semillas.

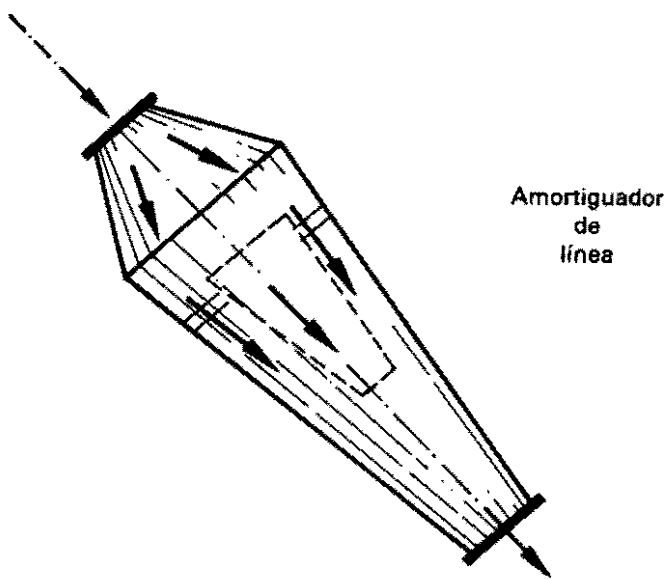
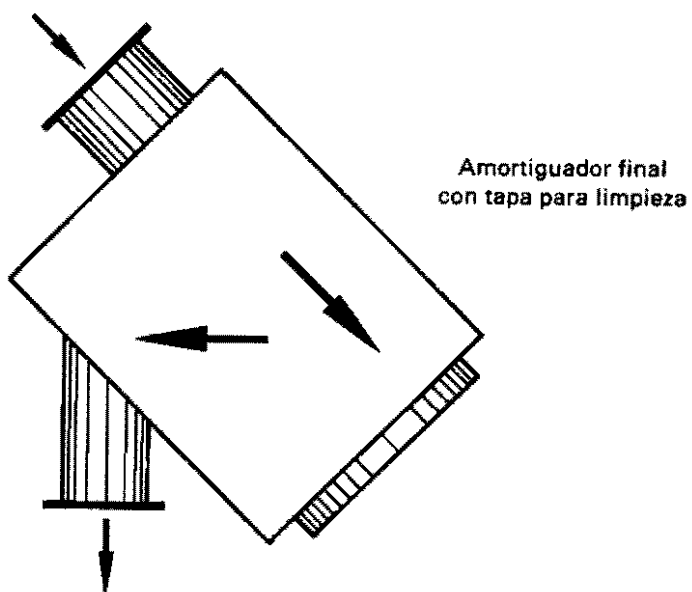


Figura 19. Tipos de amortiguadores.

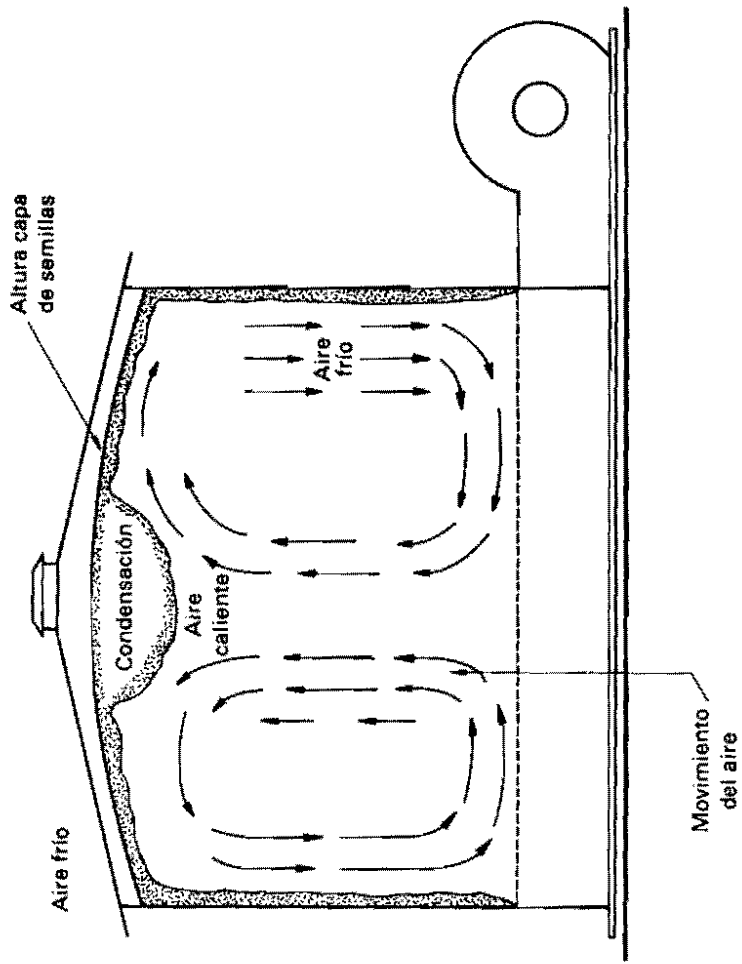


Figura 20. Migración de humedad en un silo de almacenamiento.

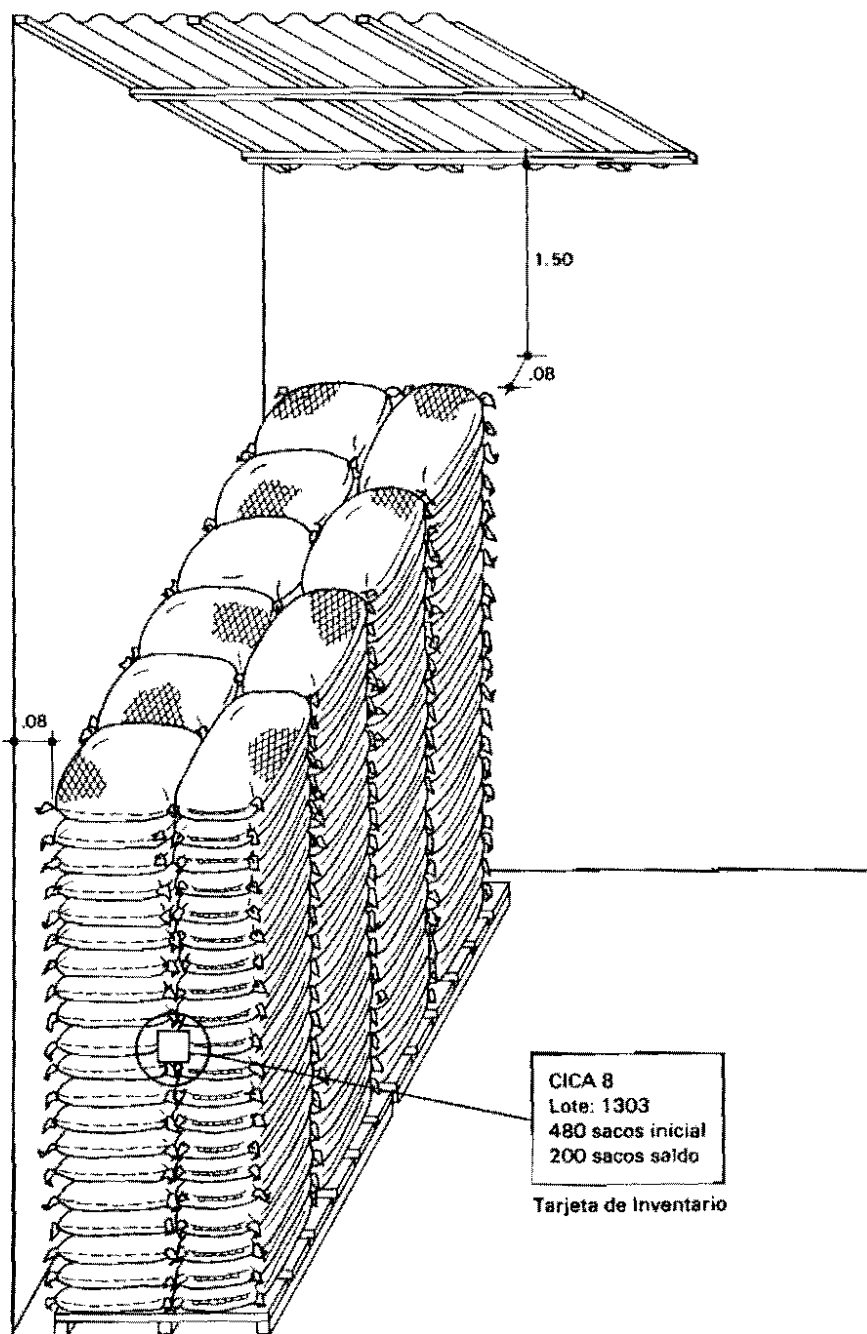


Figura 21. Conformación de arrumes dentro de una bodega de almacenamiento.

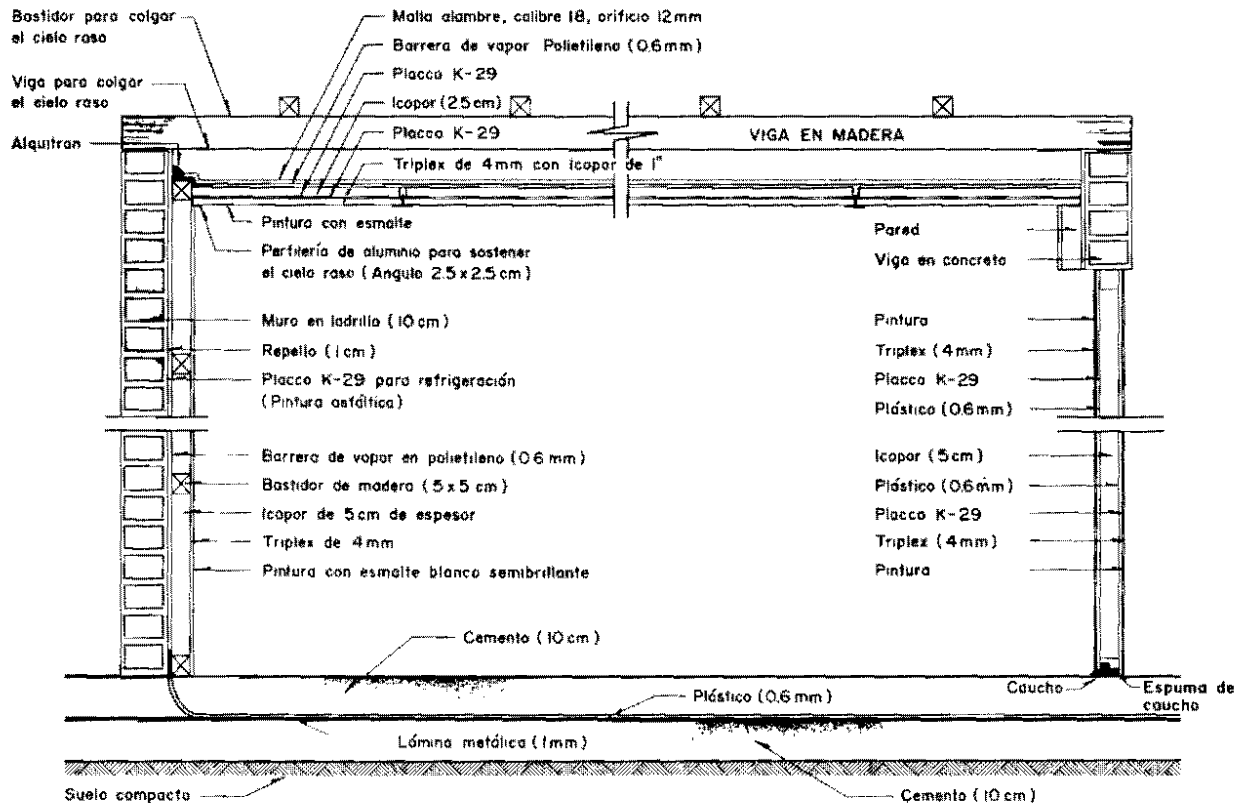


Figura 22. Diagrama de un cuarto frío y seco para el almacenamiento de semillas.

FECHA DE DEVOLUCION

5 ABO. 1993

6 SET. 1993

Hecho