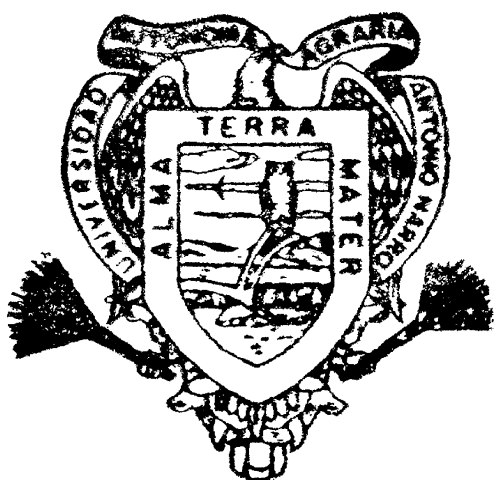


EFFECTO DE LA VARIACION EN LA TEMPERATURA
DE SECADO SOBRE LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE
SEMILLA DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench),
COSECHADA A DIFERENTES CONTENIDOS
DE HUMEDAD

ROBERTO SOTO ORTIZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS



Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

MAYO DE 1994

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN TECNOLOGIA DE SEMILLAS

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:

M.C. Federico Facio Parra.

Asesor:

PhD. Sergio Dávila Cabello.

Asesor:

M.S. Leticia A. Bustamente Garcia.

Asesor:

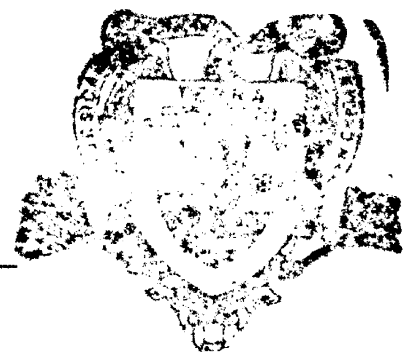
M.C. Enrique Alvarado Morales.

Asesor:

M.C. Jaime Moisés Rodríguez del Angel.

PhD. Jose Manuel Fernández Brondo.

Subdirector de Postgrado.



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
U. A. A. A. N.
SALTILLO COAH.

Buenvista, Saltillo, Coahuila. Mayo de 1994.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Origen y fin de todas las cosas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para la realización de mis estudios de postgrado.

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" por abrirme sus puertas y permitir mi crecimiento profesional.

A los maestros y personal del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (C.C.D.T.S.) por contribuir en mi formación como Tecnólogo de Semillas.

Al M.C. Federico Facio Parra por su amistad, ayuda y confianza depositada en mí, durante todos mis estudios.

Al Ing. Francisco Torres por su colaboración en la construcción del secador experimental.

A la M.S. Leticia A. Bustamante García por sus orientaciones y valiosa ayuda en la realización de este trabajo.

Al M.C. Enrique Alvarado M. Por su buena disposición y valiosa ayuda en la conducción del trabajo experimental.

Al M.C. Jaime M. Rodríguez del Angel por su colaboración en el análisis estadístico de este trabajo.

Al PhD. Sergio Dávila Cabello por sus valiosas observaciones en el presente escrito.

A la Empresa Asgrow Mexicana S.A. de C.V. por permitirme el uso de sus instalaciones y el equipo necesario para la realización de este trabajo.

A la Srita. Jovita Escobedo Garay por su amistad y calidad humana, así como por la valiosa ayuda prestada en las diversas actividades de mi vida estudiantil.

A la Srita. María Alejandra Torres Tapia por su amistad y ayuda en los análisis de laboratorio.

Al Arq. Felipe de Jesús Palomino Domínguez por la elaboración de planos, y por brindarme su valiosa y sincera amistad durante mi estancia en esta ciudad.

A la Sra. Margarita Gámez y familia, por compartirme la calidez de su hogar.

A mis compañeros Jose Alfredo Frías Mendoza y Victor Manuel Hernández Muela por su amistad y entusiasmo, que hicieron más eficiente y agradable el trabajo diario.

DEDICATORIA

Con todo respeto para las siguientes personas quienes han influido de una manera trascendental en mi vida.

A mis Padres

Sr. Roberto Soto Barraza.

Sra. Ofelia Ortiz de Soto.

A quienes nunca podré retribuir todo lo que me han dado.

A mis Hermanos

Armando, Ma. Teresa, Pedro, Maribel y Oscar

Con todo el cariño que siempre ha existido entre nosotros.

A Laura Margarita

Por el amor tan grande que siempre me ha brindado, así como por su paciencia y comprensión; puestas a prueba en estos años difíciles.

A mis Amigos

Lazaro y Carlos

Por regalarme su amistad y tantos momentos felices.

COMPENDIO

EFECTO DE LA VARIACION EN LA TEMPERATURA DE SECADO SOBRE LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench), COSECHADA A DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD

POR:

ROBERTO SOTO ORTIZ

MAESTRIA

TECNOLOGIA DE SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAYO DE 1994

Ing. M.C. Federico Facio Parra - Asesor -

Palabras Clave: Sorgo, temperatura de secado, calidad de semilla, contenido de humedad.

La presente investigación, se realizó con el objetivo de encontrar el punto óptimo de cosecha de semilla de sorgo, en función del contenido de humedad, mediante la

evaluación en el secado del efecto de tres temperaturas, sobre la calidad fisiológica de la semilla en tres períodos de almacenamiento. El trabajo consistió en cosechar manualmente semilla de sorgo, con 15, 18, 21 y 27 por ciento de contenido de humedad respectivamente. La semilla fue secada en un secador experimental de laboratorio, a temperaturas de 39, 41 y 43°C, hasta un 14 por ciento de contenido de humedad, con un flujo de aire de 3.0 m³/min, y una presión estática de 14 centímetros (5.5 pulgadas) de agua. Posteriormente fue almacenada durante 120 días y monitoreada su calidad en tres muestreos.

Los resultados indican, que la calidad física de la semilla de sorgo no se vio modificada por la operación de secado; en relación a las variables de calidad fisiológica, el secado indujo latencia secundaria en la semilla de sorgo, dicha latencia fue más acentuada con la temperatura de 43°C y a contenidos de humedad de 21 y 27 por ciento. La condición latente de la semilla desapareció a partir de los 60 días de almacenamiento. En general, la temperatura de secado no ejerció un efecto significativo sobre los valores finales de germinación y vigor de la semilla; es factible bajo las condiciones de este estudio,

cosechar la semilla de sorgo, hasta con 21 por ciento de contenido de humedad, y secar utilizando una temperatura de 43°C; sin afectar la calidad fisiológica de la semilla.

ABSTRACT

EFFECT OF DRYING TEMPERATURE VARIATION ON PHYSIOLOGICAL
QUALITY OF SORGHUM SEED (*Sorghum bicolor* L. Moench)
HARVESTED AT DIFFERENT MOISTURE CONTENTS.

BY

ROBERTO SOTO ORTIZ

MASTER OF SCIENCE

IN

SEED TECHNOLOGY

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAY, 1994

Ing. M.C. Federico Facio Parra - Advisor-

Key Words: Sorghum, drying temperature, seed quality,
moisture content.

In order to determine the optimum harvest time of
Sorghum seed in function of the moisture content, by the
evaluation of the effect of three drying temperatures upon
the seed quality, over three storage intervals, seed was

hand harvested at 15, 18, 21 and 27 percent moisture content, and dried in a laboratory experimental seed dryer, at 39, 41, and 43°C (102, 106, and 110°F) drying temperatures, using an air flow of 3.0 m³/min and a static pressure of 14 centimeters (5.5 inches of water), afterward the seed was kept in storage for 120 days.

The results indicate that physical quality of sorghum seed, was not modified by the drying process. In relation to physiological quality, the drying induced secondary dormancy on sorghum seeds which was deeper at the 43°C drying temperature and at 21 and 27 percent moisture content. The seed dormancy condition disappeared at the 60 days of storage.

In general, drying temperature did not have a significative effect on the final seed germination and vigor values, therefore it is possible, under the conditions of the present work, the harvest of sorghum seed at 21 percent moisture content, using a 43°C drying temperature and have not effect upon physiological seed quality.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	5
- Calidad de semilla.....	5
- Cosecha con altos contenidos de humedad y su relacion con la calidad de la semilla....	8
- Secado artificial de las semillas.....	14
- Secado y su relacion con la calidad de la semilla.....	19
MATERIALES Y METODOS.....	39
- Descripcion del secador experimental.....	39
- Sitio experimental.....	42
- Material genético.....	44
- Manejo agronómico.....	45
- Cosecha y acondicionamiento.....	46
- Operacion de secado.....	47
- Variables evaluadas.....	51
- Analisis estadístico.....	55
RESULTADOS Y DISCUSION.....	60
CONCLUSIONES.....	99
RESUMEN.....	101
LITERATURA CITADA.....	105
APENDICE.....	115

INDICE DE CUADROS

Cuadros		Página
4.1	Medias del peso hectolítrico (P.Hl.) y peso de mil semillas (P.M.S.) de semilla de sorgo....	61
4.2	Medias del peso hectolítrico (P.Hl.) y peso de mil semillas (P.M.S.) de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), y temperatura de secado (B) en semilla de sorgo.	63
4.3	Cuadrados medios y significancia de las variables de germinación estandar y semillas latentes en semilla de sorgo.....	67
4.4	Medias del porcentaje de plántulas normales (P.N.); anormales (P.A.), y semillas latentes (S.L.), durante la prueba de germinación estandar, en semilla de sorgo.....	69
4.5	Medias de Germinación estandar, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, en semilla de sorgo	72
4.6	Medias de plántulas normales, en primer conteo de germinación (P.C.), en semilla de sorgo....	75
4.7	Medias al primer conteo de germinación, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, en semilla de sorgo.....	78
4.8	Medias de plántulas normales (P.N.); anormales (P.A.), y semillas latentes (S.L.), después de envejecimiento acelerado, en semilla de sorgo.....	80

4.9	Medias de germinación después de envejecimiento acelerado, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, en semilla de sorgo.....	84
4.10	Medias del índice acumulado de velocidad de emergencia (V.E.) y emergencia total (E.T.) en semilla de sorgo.....	86
4.11	Medias del índice acumulado de velocidad de emergencia (V.E.) de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, en semilla de sorgo.....	89
4.12	Medias de emergencia total (E.T.) de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, en semilla de sorgo.....	93
4.13	Matriz de correlación de 7 variables de calidad y 4 factores de estudio de semilla de sorgo cosechada a diferentes contenidos de de humedad y secada a tres temperaturas.....	95

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
3.1	Vista frontal del secador experimental.... 39
3.2	Plénium y fuente de calor..... 41
3.3	Torre de secado..... 43
4.1	Peso Hectolítrico de la interacción del contenido de humedad de cosecha (A) y la temperatura de secado (B), de semilla de sorgo..... 62
4.2	Peso de mil semillas de la interacción del contenido de humedad de cosecha (A) y la temperatura de secado (B), de semilla de sorgo..... 65
4.3	Plántulas normales en germinación estandar, de la interacción del contenido de humedad de cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.... 70
4.4	Plántulas normales en primer conteo de germinación, de la interacción del contenido humedad de cosecha (A), temperatura de secado (B) y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo..... 76
4.5	Plántulas normales en envejecimiento acelerado de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.... 81
4.6	Indice acumulado de velocidad de emergencia, la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.... 87

4.7	Emergencia total de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.....	91
-----	--	----

INTRODUCCION

El sorgo es el quinto cultivo en importancia entre los cereales a nivel mundial después del trigo, maíz, arroz y cebada. México se encuentra entre los principales países productores, a partir de 1980, la superficie anual sembrada ha rebasado el millón y medio de hectáreas, con un volumen de producción superior a los 5 000 millones de toneladas (P. R., 1992).

La utilización de semilla certificada en este cultivo es importante. Hess y Rodríguez (1988) mencionan que el 97 por ciento de la superficie destinada al cultivo del sorgo utiliza semilla mejorada.

La zona productora de semilla de sorgo más importante en nuestro país es la región norte de Tamaulipas. En 1988 se produjeron más de 35 000 toneladas de semilla, con un valor superior a los 100 millones de nuevos pesos, lo cual representó el 95 por ciento de la demanda nacional y algunos excedentes para exportación

(Williams *et al.*, 1988).

Uno de los problemas más importantes al que se enfrentan los agricultores en el norte de Tamaulipas, es la presencia de lluvias durante el período de postmaduración de la semilla. Esto ocasiona retrasos en la cosecha e implica que la semilla que ha completado su madurez fisiológica, debe permanecer en el campo de 20 a 30 días hasta que la pérdida de humedad alcance niveles que permitan una cosecha y almacenamiento seguros. Quedando por tanto expuesta a condiciones adversas de alta temperatura y humedad ambiental, que propician el ataque de enfermedades que demeritan su calidad y pueden llevarla a su total deterioro.

Este período de tiempo es crítico y es motivo de importantes pérdidas económicas y de calidad en la semilla cosechada. Tal y como se puso de manifiesto en esta zona durante el año de 1993, donde debido a la presencia de ciclones en la época de cosecha, se tuvieron reducciones del 85 por ciento en la producción proyectada de semilla de sorgo (SNICS, 1993).

El secado artificial es una práctica que contribuye a realizar la cosecha lo más temprano posible, reduciendo el contenido de humedad de la semilla a niveles que permitan mantener su calidad durante el almacenamiento de la misma.

Sin embargo, la operación de secado es muy delicada debido a que la remoción de grandes cantidades de agua y la aplicación de calor a la semilla pueden afectar seriamente su calidad fisiológica si no se realiza adecuadamente. Esto y algunas otras razones como el hecho de la escasez de recursos económicos de los agricultores, han motivado que no se aplique el secado artificial a la semilla de sorgo que posea contenidos de humedad mayores del 18 por ciento.

En base a lo anterior, se definieron los siguientes objetivos:

1. Determinar los valores óptimos en la temperatura de secado y contenido de humedad de la semilla para mantener la máxima calidad fisiológica de la semilla de sorgo.

2. Determinar el punto óptimo de cosecha de la semilla de sorgo, considerando al secado como una operación que permitirá mantener los atributos de calidad obtenidos en campo.

Las hipótesis planteadas en relación a los objetivos anteriores, son las siguientes:

1. Es posible cosechar la semilla de sorgo con altos contenidos de humedad, cercanos al punto de madurez fisiológica utilizando los valores óptimos en la temperatura de secado, sin afectar la calidad fisiológica de la semilla.

2. La cosecha y secado de la semilla de sorgo a contenidos de humedad cercanos a la madurez fisiológica, permiten reducir el período de almacenamiento en campo manteniendo así su máxima calidad fisiológica.

REVISION DE LITERATURA

Calidad de Semilla

La calidad de la semilla es cada vez más importante. Los semillistas progresistas usan la calidad como una técnica competitiva en el mercado, al igual que utilizan el precio de venta y el servicio (Delouche, 1986).

De acuerdo a Cantliffe y Tigchelaar (1980) la calidad de la semilla involucra más que la pureza genética y una alta viabilidad. Y señalan además algunas características importantes como la habilidad para germinar uniformemente en condiciones subóptimas de humedad y temperatura del suelo, las cuales son limitantes para un establecimiento satisfactorio en siembras tempranas. De manera similar Dickson (1980) indica que una semilla de calidad no tiene daño, posee un alto nivel de germinación y producirá plántulas uniformes y vigorosas, sin defectos, bajo diferentes condiciones ambientales.

En relación a la calidad de la semilla en forma individual, las características de calidad incluyen pureza varietal, viabilidad, vigor, daño mecánico, infección por enfermedades, tratamiento de cubrimiento, tamaño y apariencia. Mientras que para un lote de semillas, las características de calidad incluyen el contenido de humedad, potencial de almacenamiento, incidencia de contaminantes, uniformidad del lote y potencial de rendimiento (Delouche, 1985).

Todas estas características de calidad son agrupadas en: Factores genéticos, principalmente pureza varietal; factores físicos, atributos que van desde el concepto tradicional de pureza, a la incidencia y severidad de daño mecánico y tamaño de semilla; factores patológicos, tipo e incidencia de enfermedades; y factores fisiológicos, como germinación y vigor (Delouche, 1986).

La capacidad de germinación es el criterio más comunmente usado para conocer la condición fisiológica o calidad de la semilla y es universalmente aceptado que germinación y viabilidad son terminos sinónimos al referirse a la habilidad de la semilla para producir

plántulas normales bajo condiciones favorables (Copeland y McDonald, 1985).

De acuerdo a ISTA (1985) la germinación de una semilla en una prueba de laboratorio es la emergencia y desarrollo de una plántula hasta una etapa donde el aspecto de sus estructuras esenciales indican si esta es capaz o no de desarrollarse en un planta satisfactoria bajo condiciones favorables en el suelo. Sin embargo, esta definición de germinación y la prueba de germinación en general han mostrado ser inadecuadas para determinar el potencial de emergencia en campo (McDonald, 1980). Este potencial de emergencia en campo es lo que se conoce como vigor de la semilla. Al respecto, la AOSA (1983) señala que el vigor de una semilla comprende aquellas propiedades de la misma las cuales determinan el potencial para una rápida y uniforme emergencia, y el desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones ambientales.

El vigor es función del grado de emergencia de plántulas, del crecimiento de la planta y del desarrollo en relación con el máximo grado para cada especie y variedad. El vigor a nivel de una población de semillas, puede ser

expresado como una rápida, uniforme y alta germinación o emergencia en campo. Un lote de semillas continúa mostrando estas tres propiedades a medida que las condiciones de plantación se desvían de la condición ideal (Abdul-Baki, 1980). El mismo autor menciona, que cada vez existe un mayor acuerdo sobre la importancia del vigor como el principal factor de calidad de la semilla.

Cosecha con altos Contenidos de Humedad y su Relacion con la Calidad de la semilla

Durante el proceso de desarrollo de un cultivo, el punto de madurez fisiológica constituye la etapa en la cual la semilla alcanza su mayor calidad, expresada esta en términos de viabilidad, germinación y vigor (Baskin, 1987).

El contenido de humedad de la semilla en este punto varía considerablemente, dependiendo del ambiente de cultivo, la especie, y la variedad o cultivar de que se trate, así como de las condiciones específicas del manejo agronómico (Vanderlip, 1979). Estos valores fluctúan desde 32 a 35 por ciento (maíz, arroz); y 50 a 55 por ciento (soya, cacahuete, algodón), (Delouche, 1980a). Para la

semilla de sorgo, Paul (1990) menciona que alrededor de los 90 días alcanza la madurez fisiológica y la semilla contiene aproximadamente 30 por ciento de humedad. Sin embargo, estos valores en el contenido de humedad son altos para permitir la cosecha mecánica y un almacenamiento seguro de la semilla (Brooker *et al.*, 1974).

Una vez que las semillas han alcanzado su madurez fisiológica en el campo, se inicia también el proceso de deterioro de las mismas (Dávila, 1984). Este período de precosecha durante el cual las semillas están expuestas al ambiente, tienen gran influencia en la calidad de la semilla cosechada (Baskin, 1987). Al respecto, Helmer (1980) indica que las condiciones ambientales previas a la cosecha, constituyen uno de los cinco aspectos básicos del deterioro de la semilla y que probablemente esto plantea la mayor amenaza para la producción de semilla de calidad.

Delouche (1980b) menciona que las condiciones climáticas durante el período de postmaduración o precosecha, establecen la calidad básica de la semilla, y por tanto, tienen una influencia importante sobre la capacidad de almacenamiento de la propia semilla después de

la cosecha. Lluvias frecuentes y prolongadas, rocío denso, niebla, alta humedad y temperaturas cálidas contribuyen al deterioro de la semilla durante su permanencia en la planta. La semilla sujeta a tales condiciones no tiene un período prolongado de almacenamiento, aún si la germinación es relativamente alta después de la cosecha.

Considerando el tiempo que la semilla permanece aún en la planta después de llegar a madurez fisiológica, Boyd (1975) señala que frecuentemente almacenamos la semilla en el campo cuando las condiciones climáticas impiden una cosecha a tiempo. Al respecto, Garay *et al.* (Sin fecha) mencionan que el almacenamiento de la semilla se inicia en el momento en que la misma ha llegado a la madurez fisiológica y termina cuando ha germinado en el campo. El almacenamiento en el campo por tiempo prolongado es errático y la semilla no se almacena tan bien como la que es cosechada en forma oportuna (Thomson, 1979). Este retraso en la cosecha, posterior a la época oportuna, implica un deterioro significativo en el vigor y rendimiento, así como en la calidad sanitaria (Giraldo *et al.*, sin fecha).

El deterioro de naturaleza fisiológico, es causado por la alta actividad metabólica, alta respiración, degradación de membranas y estructuras celulares, así como el debilitamiento de procesos celulares (Garay *et al.*, sin fecha), el deterioro sanitario es debido a la alta humedad de la semilla que favorece la presencia de microorganismos, los cuales continúan su desarrollo durante el almacenamiento que sigue a la cosecha (Tocagni, 1982). En ese sentido, el contenido de humedad ha sido reconocido por varios autores, como una característica sobresaliente en los diversos aspectos de calidad dentro de un programa de producción de semillas (Garay *et al.*, Sin fecha) y que incluyen el índice óptimo de cosecha (Dávila, 1984); y la preservación de la calidad durante el almacenamiento (Christensen y Kauffman, 1969; Bass y Stanwood, 1978).

Desde el punto de vista práctico es difícil cosechar un lote de semillas con alto contenido de humedad, especialmente si hay fracciones del lote que presenten un retraso en madurez ya que la cosechadora causa daño a las semillas en estado lechoso. Sin embargo, una buena supervisión minimiza estos daños y se recomienda la cosecha lo más cerca posible del punto de madurez fisiológica para

obtener la mejor calidad y evitar almacenar semilla en el campo bajo condiciones ambientales adversas (Dávila, 1986).

La semilla de sorgo con una humedad de 25 a 35 por ciento es difícil de desprender de la panoja (Ibar, 1984), quedando aplastada o partida al pasar por la cosechadora. A contenidos de humedad cercanos al 25 por ciento puede realizarse eficientemente la cosecha de la semilla; si bien el efecto del daño mecánico no será evidente de inmediato, sí incrementará en forma significativa el rango de deterioro de la semilla. (Dodggett, 1970). Estas pérdidas pueden ser reducidas utilizando la maquinaria apropiada, sin embargo el potencial de deterioro en las etapas posteriores de secado, acondicionamiento y almacenamiento es máximo (Brooker *et al.*, 1974). El contenido de humedad óptimo para la cosecha mecánica del sorgo es de 18 a 20 por ciento (Dávila, 1986).

En la mayoría de las semillas cosechadas a altos contenidos de humedad, el secado artificial forma parte de un sistema integral para mejorar la capacidad de almacenamiento de las mismas (Christensen y Kauffman, 1969), y está muy ligado a los estudios de cosecha mecánica

obtener la mejor calidad y evitar almacenar semilla en el campo bajo condiciones ambientales adversas (Dávila, 1986).

La semilla de sorgo con una humedad de 25 a 35 por ciento es difícil de desprender de la panoja (Ibar, 1984), quedando aplastada o partida al pasar por la cosechadora. A contenidos de humedad cercanos al 25 por ciento puede realizarse eficientemente la cosecha de la semilla; si bien el efecto del daño mecánico no será evidente de inmediato, sí incrementará en forma significativa el rango de deterioro de la semilla. (Dodggett, 1970). Estas pérdidas pueden ser reducidas utilizando la maquinaria apropiada, sin embargo el potencial de deterioro en las etapas posteriores de secado, acondicionamiento y almacenamiento es máximo (Brooker *et al.*, 1974). El contenido de humedad óptimo para la cosecha mecánica del sorgo es de 18 a 20 por ciento (Dávila, 1986).

En la mayoría de las semillas cosechadas a altos contenidos de humedad, el secado artificial forma parte de un sistema integral para mejorar la capacidad de almacenamiento de las mismas (Christensen y Kauffman, 1969), y está muy ligado a los estudios de cosecha mecánica

(Dodggett, 1970).

Al evaluar el efecto del secado natural y artificial, así como diferentes períodos de almacenamiento sobre la calidad de semilla de líneas parentales de sorgo cosechadas a diferentes contenidos de humedad, Singh y Latchanna (1985) encontraron que la semilla cosechada después de 25 a 35 días de polinización y con contenidos de humedad de 45.2 a 23.4 por ciento, fue de mejor calidad (76.7 a 78.0 por ciento de germinación), y esta se redujo significativamente a los cuarenta días de polinización a contenidos de humedad de 19.5 a 17.0 por ciento. Los autores concluyen que la fecha de cosecha, el período de almacenamiento y los métodos de secado tienen efecto considerable en la calidad de la semilla de cereales, especialmente en cultivos como el sorgo. Sus resultados indican que la cosecha del sorgo puede ser hecha 30 a 35 días después de polinización a 25 por ciento de contenido de humedad sin afectar la calidad de la semilla.

En relación a la calidad física de la semilla, Oke *et al.* (1985) al estudiar algunas propiedades de ingeniería de dos variedades de sorgo, encontraron que en las últimas

etapas de la cosecha, el grano asume más uniformidad y la densidad del mismo decrece, a medida que el contenido de humedad disminuye. Los autores concluyen que las propiedades evaluadas pueden ser útiles en el diseño de sistemas de manejo, acondicionamiento y almacenamiento, para la variedad en cuestión.

Secado Artificial de las Semillas

La operación de secado de la semilla, es definida por Cabrera (1986) como un proceso de transferencia de masas, en el que el agua en forma de vapor, es removida de las semillas y absorvida por el aire que las rodea.

Como menciona Dávila (1986) el secado es un proceso de evaporización donde el aire que pasa a través de la masa de semillas tiene dos funciones: actuar como fuente de calor para evaporar el agua del grano, y servir además como vehículo para transportar el agua evaporada fuera de la masa de semillas. Lo anterior se logra en forma natural o artificial, esto último alterando las propiedades físicas del aire de secado; aumentando su velocidad, temperatura, y reduciendo su contenido de humedad (Peske y Aguirre, 1987).

El secado artificial forma parte importante del proceso de ingeniería de postcosecha, y tiene como objeto eliminar la humedad excedente de la semilla, de tal manera que sea factible almacenarla en forma segura por un tiempo determinado (Dávila, 1984). Dependiendo de la forma en que las semillas fluyan en el proceso de secado, se pueden considerar tres sistemas de secado artificial: secado estacionario, secado continuo y secado intermitente (Peske y Aguirre, 1987). Según Copeland (1976) la elección de un sistema de secado en particular será influenciada por la necesidad de conservar los lotes de semilla en forma individual o mezclados, y por el tamaño del mismo.

Los tipos principales de secadores comerciales, son tres: el silo secador, el secador de flujo continuo y el secador de grandes volúmenes a granel. Al respecto, Dávila (1984) menciona que "los secadores de grandes volúmenes a granel pueden ser utilizados con cualquier volumen de semilla de una sola vez, pero no permiten la individualización de lotes, mientras que los silos secadores que son los más usados, permiten la identificación de lotes, cuando son secados separadamente, y los secadores de flujo continuo son utilizados mayormente

cuando se secan grandes volúmenes de semilla".

Independientemente del método utilizado, el secado artificial de la semilla consiste básicamente en la aplicación de aire caliente a la masa de semillas, a fin de extraer la humedad presente. Si bien es un proceso eficiente, algunos autores como Foster (1973) mencionan que usando aire como único medio de secado, resulta en un proceso ineficiente, ya que el aire será saturado sin ser capaz de usar el calor sensible.

Las ventajas del secado artificial son obvias, varios autores (Sorenson, 1958; Brooker *et al.*, 1974; Hall, 1980; McLean, 1980) entre otros, las han discutido ampliamente, y todos ellos coinciden en afirmar que el secado permite una cosecha más temprana, reduce las pérdidas durante el almacenamiento al reducir el peligro causado por el almacenamiento de semilla con alto contenido de humedad, los cultivos pueden ser cosechados más rápido, haciendo más eficiente el uso de la maquinaria y del suelo agrícola y representa una mayor ventaja durante la comercialización al aprovechar los precios más altos. Sin embargo, las principales desventajas son la alta inversión

inicial por la compra del equipo, el peligro de incendio por combustión espontánea y la necesidad de una supervisión cuidadosa (Hall, 1980).

La eficiencia de la operación de secado está influenciada por varios factores; al respecto Cabrera (1986) cita como principales la temperatura y humedad del aire de secado, el contenido de humedad inicial de la semilla, el flujo de aire, la presión estática, migración interna de humedad, permeabilidad de la cubierta y tiempo de secado, entre otros.

Nellist (1980) menciona que el estudio del proceso de secado es difícil, ya que este es un sistema dinámico, en el cual la semilla inicia en una condición húmeda y fría, y gradualmente se torna más caliente y seca. Además el número de variables involucradas en el proceso de secado, hace virtualmente imposible probar cada condición de la operación durante el experimento. Esto ha motivado el desarrollo de modelos de simulación por computadora, tal y como lo menciona Nellist (1981), en los cuales se intentan predecir los cambios físicos que ocurren en la semilla, y a la vez predecir su efecto en la calidad de la

misma.

Roberts (1981) menciona que utilizando la ecuación mejorada de viabilidad, combinada con el uso de cálculos por computadora que describen la transferencia de calor y humedad entre la semilla y el aire de secado, es posible definir condiciones apropiadas de secado y mejorar el diseño de secadores.

La utilización de los modelos computacionales en el estudio del proceso de secado es amplia; se han tratado de desarrollar sistemas de simulación de los diferentes procesos que intervienen en el secado, y que incluyen modelos de difusión de la humedad (Walton *et al.*, 1988); modelos de transferencia de calor y humedad para predecir la temperatura del grano (Sokhansanj y Bruce, 1987); las constantes del secado en función de la temperatura, velocidad y humedad relativa del aire de secado (Verma *et al.*, 1985); el efecto del daño del grano y la pérdida de materia seca durante el secado a alta humedad (Stroshine y Yang, 1990); la predicción de fracturas (Litchfield y Okos, 1987); la transferencia de calor y masas (Arthur y Rumsey, 1991); así como la predicción del contenido de

humedad (Chien *et al.*, 1969); entre otros. Asimismo, se han desarrollado modelos de simulación de secado en cultivos particulares, con atención principal al cultivo de maíz, (Thompson *et al.*, 1968; Thompson, 1972); y arroz (Allen, 1960 ; Verma *et al.*, 1985).

Secado y su relación con la Calidad de la semilla

En principio, el secado de la semilla no es diferente al secado del grano, sin embargo; debido al carácter vivo de la semilla se requieren cuidados adicionales en el manejo y selección del método de secado utilizado (Thomson, 1979). Al respecto, Douglas (1982) hace referencia a que el sistema de secado debe ser diseñado para que funcione satisfactoriamente, bajo las condiciones climáticas que prevalezcan durante y después de la cosecha, y que el buen funcionamiento dependerá de factores tales como el volumen de semilla que se va a secar, número de variedades que se maneja y tamaño de los lotes.

El secado, como nos hemos referido, comprende más que la sola remoción de la humedad interna y externa o los constituyentes volátiles de la semilla; y tal y como lo

mencionan Matthes y Rushing (1972) el proceso debe conformarse a las características físicas y químicas de la semilla.

No obstante de ser una operación necesaria, el secado es también una operación muy riesgosa, como lo mencionan Aguirre y Peske (1992), ya que puede causar daño a la semilla, por secado muy rápido o lento, por daño mecánico durante el manejo o por mezcla de variedades durante el manejo de la semilla en el mismo. Nellist (1981) menciona que idealmente, un secador no debiera causar ningún tipo de daño, pero en la práctica un límite aceptable que se puede tolerar puede ser, por ejemplo, un 1 por ciento de pérdida en germinación.

El criterio más utilizado para evaluar la viabilidad de la semilla durante el secado, ha sido tradicionalmente la prueba estandar de germinación, sin embargo, de acuerdo a Nellist (1980) existen problemas asociados con esta prueba, y se hace necesario un criterio alternativo, como las pruebas de vigor.

mencionan Matthes y Rushing (1972) el proceso debe conformarse a las características físicas y químicas de la semilla.

No obstante de ser una operación necesaria, el secado es también una operación muy riesgosa, como lo mencionan Aguirre y Peske (1992), ya que puede causar daño a la semilla, por secado muy rápido o lento, por daño mecánico durante el manejo o por mezcla de variedades durante el manejo de la semilla en el mismo. Nellist (1981) menciona que idealmente, un secador no debiera causar ningún tipo de daño, pero en la práctica un límite aceptable que se puede tolerar puede ser, por ejemplo, un 1 por ciento de pérdida en germinación.

El criterio más utilizado para evaluar la viabilidad de la semilla durante el secado, ha sido tradicionalmente la prueba estandar de germinación, sin embargo, de acuerdo a Nellist (1980) existen problemas asociados con esta prueba, y se hace necesario un criterio alternativo, como las pruebas de vigor.

Camargo y Vaughan (1973) al evaluar diferentes pruebas para predecir la calidad fisiológica de un lote de semilla de sorgo, resaltan que la germinación estandar fue la menos sensible en discernir la condición de la semilla. Estos resultados son confirmados por Nellist (1981) quien anota que la prueba de germinación está sujeta a un error considerable y que no puede detectar pequeñas diferencias en viabilidad, del orden de 1 a 2 por ciento.

Los factores más relacionados con la pérdida de viabilidad de la semilla durante el secado artificial, han sido estudiados, e incluyen la calidad inicial de la semilla, temperatura de la misma, contenido de humedad inicial y el tiempo de exposición. (Chirmaksorn *et al.*, 1978; Nellist, 1981). La condición ideal, es alcanzar un equilibrio entre la temperatura, el tiempo de secado, y el contenido de humedad de la semilla (Rave y Kanawade, 1982).

Según Matthes y Rushing (1972) si la germinación cae más de uno a dos por ciento durante el secado, es necesario pensar en un tiempo excesivo de espera antes del inicio de la operación, insuficiente flujo de aire, menos de 10 cfm/Bu, excesiva presión estática, mayor de 10

cfm/Bu, alta temperatura del aire de secado mayor de 43°C (110°F) y excesiva capa de semillas.

En relación al efecto del secado sobre la composición química de la semilla, Peplinski *et al.* (1975) al trabajar con semilla de maíz cosechada a diferentes contenidos de humedad y secada en forma natural y artificial, encontraron que existió poco efecto del secado sobre el contenido de proteína, fibra, almidón, lípidos y cenizas, en las condiciones de cosecha y temperaturas de secado evaluadas. Resultados similares fueron obtenidos en semilla de sorgo por Price *et al.* (1979), al evaluar el contenido de taninos de 12 variedades de sorgo en función de la etapa de madurez y las condiciones de secado, los autores mencionados encontraron que el secado causó una drástica reducción en el contenido aparente de taninos en la semilla, en relación al testigo, pero los tratamientos evaluados tuvieron ligero efecto sobre la calidad nutricional del grano.

Al estudiar la relación entre el secado y el peso hectolítrico, Brooker *et al.* (1974) observaron que el peso volumétrico se incrementa durante el proceso de secado, y

que este incremento depende de el grado de daño del grano, el contenido inicial de humedad, la temperatura que el grano alcanza durante el proceso, el contenido final de humedad y la variedad.

Efecto de Altas Temperaturas

La temperatura crítica de secado, es la permisible a la cual la semilla puede ser expuesta durante el proceso de secado sin afectar su viabilidad. La temperatura del agente secante está limitada por el contenido de humedad inicial y el tiempo de exposición (Rave y Kanawade, 1982).

Brooker *et al.* (1974) mencionan que las recomendaciones para las limitaciones de temperatura para evitar efectos deletéreos, son usualmente fijadas en las temperaturas del aire de secado, mientras que la consideración importante es la temperatura de la semilla, más aún, este efecto está relacionado con el tiempo de exposición a esa temperatura; durante el secado, la semilla está a menor temperatura que el aire, sin embargo; en largos periodos de secado, la temperatura de la semilla se aproxima a la del aire.

Al respecto, Nellist (1980) menciona que la mayoría de las recomendaciones para temperaturas seguras de secado, han sido establecidas de observaciones empíricas (de la temperatura del aire o de la semilla), y anota que es desconcertante que diferentes países y organizaciones hayan llegado a diferentes temperaturas seguras de secado para la misma especie. La utilización de altas temperaturas en el secado artificial se justifica por dos razones: la velocidad de secado es más rápida a altas temperaturas (Justice y Bass 1978). y el secado es generalmente más económico a altas que a bajas temperaturas (Rave y Kanawade, 1982).

En relación al tipo de secador, Chirmaksorn *et al.* (1978) mencionan que las temperaturas altas de secado pueden ser usadas más eficientemente en secadores donde la semilla se mueve continuamente y el secado se realiza más uniformemente. Al estudiar el efecto de altas temperaturas de secado sobre la germinación de semilla de soya, los autores concluyeron que las temperaturas arriba de 54.5°C (130°F), pueden ser aplicadas por tres horas sin dañar la germinación de la semilla de soya, sin embargo, cuando el secado se hizo en silo con alta capa de semilla, las

temperaturas arriba de 43°C (110°F), no deben ser usadas a fin de evitar un secado excesivo cerca del fondo del silo.

✓ En los silos secadores, donde la semilla permanece sin movimiento durante todo el proceso de secado, el sobresecado de la semilla en la parte más baja del silo, puede ser minimizado con el uso de mecanismos de agitación, que lentamente trasladen la semilla de la parte más alta a la más baja del silo (Cabrera (1986)). Otra práctica puede ser el invertir el flujo de aire, cuando el frente de secado se localice cerca de la mitad de la masa de semillas. Boyd (Sin fecha) menciona que este problema puede ser resuelto manteniendo la temperatura del aire lo suficientemente baja para evitar un sobresecado, o reduciendo el tiempo de exposición de la semilla al aire caliente y con baja humedad, aumentando el flujo de aire por volumen de semilla de manera que la velocidad de secado en las capas superiores sea mayor.

Los factores a considerar en los criterios para la aplicación de altas temperaturas incluyen las condiciones climáticas y el daño infringido a la semilla durante la

cosecha (Nellist y Hughes, 1973), la clase de semilla y su contenido de humedad inicial (Besnier, 1989) y el uso al que se destine el producto. Bajas temperaturas (menor a 43°C son usadas para semillas, temperaturas medias (menor a 54°C) para molienda y proceso, y temperaturas abajo de 82°C, para alimentación animal (Hall, 1980).

Rave y Kanawade (1982) al secar espigas de sorgo del híbrido Jowar CSH 8 R con diferentes contenidos de humedad y variando la temperatura de secado, encontraron que si el grano de sorgo con un contenido de humedad hasta de 24 por ciento, es secado a 50°C, este grano puede ser usado con propósitos de semilla. Las temperaturas arriba de 50°C parecen causar serios daños en la germinación y por tanto, no deben ser usadas para el secado de semilla.

Se ha estudiado ampliamente el tipo de daño a la semilla, asociado con el uso excesivo de calor durante el secado, Thomson (1979) señala que el secado puede disminuir la capacidad de germinación, aumentar el número de plántulas anormales, afectar la permeabilidad de la cubierta, destruir enzimas o causar endurecimiento de las capas internas. Nellist y Hughes (1973) mencionan además de

lo anterior, el desarrollo de fracturas internas, partido de la cubierta de la semilla y decoloración. Brooker *et al.* (1974) señalan igualmente que las temperaturas de secado pueden tener un efecto significativo en la calidad de la semilla; temperaturas excesivas en maíz causan rajaduras, quebrado, decoloración y disminución en la separación del almidón; en trigo, las temperaturas altas alteran las propiedades de horneado del grano.

Roberts (1981) menciona que a medida que las semillas se aproximan a su muerte, son más susceptibles a producir plántulas anormales, y que la proporción de plántulas anormales en cualquier lote de semillas, puede ser interpretada sobre esta base. Sin embargo, tal como lo mencionan Sinha y Muir (1973) la prevención de estos daños no es tan simple como pudiera parecer, la principal razón es económica. El secado en el equipo tradicional es más eficiente y cuesta menos por unidad de humedad removida cuando la semilla es secada a altas temperaturas, y esas son precisamente las condiciones que dañan la calidad de la semilla.

Cuando la humedad de la semilla es removida con aire caliente, la superficie se contrae más rápidamente que el interior y se desarrollan fracturas en la superficie del grano, la relación entre la cantidad de humedad removida y el desarrollo de fracturas no ha sido estudiada en detalle, pero en maíz las fracturas se desarrollan con una rápida remoción de cerca del 6 por ciento de humedad y en chícharo con una remoción del 3 al 4 por ciento de humedad (Hall, 1980).

Gustafson y Morey (1979) al evaluar la forma en que los factores de secado contribuyen a los cambios en los parámetros de calidad del grano durante el secado a altas temperaturas, encontraron que un aumento en la temperatura de secado reduce la ganancia de peso hectolítrico y aumenta la susceptibilidad de fracturas asociada con el secado. Asimismo concluyen que una combinación de sistemas de secado de alta y baja temperatura, resultaron en un mejoramiento significativo de la calidad, medida por peso hectolítrico, susceptibilidad a fracturas, capacidad de germinación y desarrollo fungoso, cuando se comparó con el secado convencional a alta temperatura.

En relación al manejo de la semilla, Mathiasson y Wignell (1977) indican que si el secado es realizado a alta temperatura, la cubierta exterior se vuelve extremadamente seca y predispuesta al daño mecánico durante el proceso de acondicionamiento.

El aire de secado también puede inducir una condición latente en la semilla. Clark *et al.* (1967) mencionan tres mecanismos involucrados en la latencia de semilla de sorgo. El primer mecanismo, está asociado con el contenido de humedad inicial de la semilla; el segundo mecanismo, con el crecimiento activo de la semilla; y un tercer mecanismo que se presenta en algunas semillas que han alcanzado su máximo peso seco. Nutile y Woodstock (1967) indujeron latencia secundaria en semillas de sorgo por secamiento forzado a 46-48°C con un contenido de humedad cercano al 7 por ciento, y encontraron que las semillas latentes tienen una tasa más baja en la conducción del oxígeno comparadas con las semillas sin latencia, las cuales son capaces de germinar únicamente cuando son separadas las cubiertas de la semilla o en reimpibición, por lo cual ellos sugieren que los cambios físicos en la cubierta de la semilla durante el secado artificial,

restringen la conducción de la tasa de oxígeno superando la imbibición.

Ross (1980) indica que en algunas especies, el almacenamiento en seco resulta en la pérdida de latencia, esto es característico de muchos pastos, incluyendo algunos de los cereales más comunes, como avena, cebada, centeno y arroz. El período de almacenamiento seco requerido varía de días a meses, de acuerdo a las especies y grado de latencia. Nellist (1981) coincide en las observaciones anteriores, al señalar que la examinación celular de semillas dañadas por calor, no reveló aberraciones cromosómicas, pero mostró protusiones del nucleolo semejante a vejigas. Esto parece estar asociado con la pérdida de la capacidad de permeabilidad selectiva, la cual también provoca que las semillas sean sensitivas al exceso de agua.

Nellist y Hughes (1973) observaron que el primer indicio del daño por calor fue un retraso en la germinación, el cual se incrementó con la temperatura y fue del orden de algunos días. Nellist (1981) indica que una experiencia común es que un ligero calor puede incrementar

aparentemente la viabilidad, por rompimiento de latencia.

Contenido de Humedad de la Semilla

De acuerdo a Hall (1980), existe una relación entre la temperatura de secado, el contenido de humedad de la semilla, el tiempo durante el cual la semilla permanece en el secador y la manera en que se afecta la calidad de la semilla. Chaves y Boyd (1957) proponen una relación entre el contenido de humedad de la semilla, y la temperatura a la cual puede ser efectuado el secado sin afectar la calidad de esta. Es decir, recomiendan una temperatura de 32°C (90°F) para semilla con contenido de humedad mayor de 18 por ciento; 37°C (100°F) para semilla con 10 a 18 por ciento y 43°C (110°F) para semilla con un contenido de humedad menor de 10 por ciento.

Dávila *et al.* (1988) mencionan que a niveles de humedad mayores de 18 por ciento, es conveniente iniciar el secado con aire natural y elevar la temperatura del mismo paulatinamente a medida que va disminuyendo la humedad de la semilla.

Gowda y Ramakrishnappa (1988) al cosechar semilla de sorgo a tres diferentes contenidos de humedad y secar a 6 diferentes temperaturas, encontraron que al incrementar el contenido de humedad, se incrementó la velocidad de secado. Se observó asimismo una reducción significativa en la germinación cuando la temperatura del aire de secado se incrementó mas alla de cierto nivel a un contenido de humedad inicial de la semilla . La temperatura de 50°C fue la máxima permisible para semillas con un contenido de humedad inicial de 29 por ciento. La reducción en la germinación se atribuyó a una mayor velocidad de secado, asociado con el daño térmico. La germinación fue más alta (95 por ciento) con un contenido de humedad inicial de 21 por ciento y una temperatura de secado de 45 y 50°C, con una capa de semillas de 5 centímetros de profundidad. Finalmente, los autores concluyen que la semilla del híbrido CSH-1 puede ser secada con seguridad con contenido de humedad de 25 a 8.9 por ciento en 5 horas, usando una temperatura crítica de 60°C.

Peplinsky et al (1975) al estudiar la influencia del contenido de humedad en cosecha y las condiciones de secado sobre la calidad de semilla de maíz, indican que el

peso hectolítrico de la semilla fue influenciado significativamente por la humedad de cosecha y la temperatura del aire de secado. Brooker *et al.* (1974) mencionan que el grano cosechado con alto contenido de humedad está menos expuesto al efecto intemperizante y muestra un mayor peso hectolítrico después del secado, que el grano cosechado a un menor contenido de humedad.

Gustafson y Morey (1979) indican que la ganancia antes mencionada se reduce a medida que el grano se seca a humedades más bajas en el secador de alta temperatura y la susceptibilidad a las fracturas se incrementa.

Tiempo de Secado

Varios autores citan como los principales factores que determinan la velocidad o tiempo de secado, a la temperatura del aire de secado (Justice y Bass, 1978); el contenido de humedad inicial de la semilla (Cabrera, 1986); la altura de la capa de semillas (Boyd *et al.*, Sin fecha); el tipo de semilla (Justice y Bass, 1978) y las condiciones ambientales (Welch, 1967; Westerman *et al.*, 1973).

Una aproximación para el cálculo del tiempo de secado, se obtiene con la siguiente fórmula (McLean, 1980).

$$T_s = \frac{35.44 \times AR}{FA \times DT}$$

En donde: T_s = Tiempo de secado en horas.

AR = Agua removida en lt/m^3 .

FA = Flujo de aire en $m^3/min/m^3$ de semilla.

DT = Diferencia de temperatura ($^{\circ}C$) entre el aire de entrada y el de salida.

35.44 = Factor de conversión.

Kreyger (1973) clasifica a las semillas, en correlación al secado, como aquellas de secado rápido (Colza, remolacha azucarera, pastos); semillas de secado normal, (cereales) y semillas de secado lento (Lupino, maíz, chicharo, frijol). Besnier (1989) coincide en lo anterior, y señala a las leguminosas como semillas de secado lento e indica que la aceleración del secado puede disminuir la capacidad de germinación, asimismo menciona que las semillas de oleaginosas se caracterizan por presentar las menores velocidades de secado.

El conocimiento de la velocidad a la cual puede ser secada una semilla en particular, es muy útil en la selección del sistema de secado a instalar (Justice y Bass, 1978). Si el secado se realiza muy rápido, se corre el riesgo de fisurar las semillas, debido al gran gradiente de humedad en la semilla; por otra parte, si se realiza muy lento, las semillas pueden estar muy húmedas y desarrollar un ambiente propicio para los microorganismos y calentamiento en la masa de semillas (Dávila *et al.*, 1988).

Otros autores, conceden mayores ventajas al secado lento, en relación al secado realizado a mayor velocidad. Mathiasson y Wignell (1977) señalan que si la semilla es secada lentamente y almacenada por un tiempo, la humedad será distribuida homogéneamente en el lote, y bien balanceada dentro de los granos, lo cual señalan como una ventaja para el manejo posterior. Harrington (1959) indica que la semilla secada lentamente, muestra menor reducción en el vigor, y por lo tanto, mayor capacidad para tolerar condiciones adversas de almacenamiento, en relación a la semilla secada rápidamente.

Altura de la capa de Semillas.

La altura de la capa de semillas es muy importante en relación a la temperatura del aire y la irregularidad tolerable en el contenido de humedad después del secado. (Kreyger, 1973). Esta relación fue evaluada por Gowda y Ramakrishnappa (1988) en semilla de sorgo, los autores señalan que los resultados de esta combinación mostraron que la germinación no fue significativamente afectada en una capa de semillas de 10 cm, en la cual se tuvo una reducción en la germinación de 4 por ciento, pero cuando se aumentó la altura a 15 cm, la reducción fue de 16 por ciento. Esto quizás debido a un mayor tiempo de exposición y un mayor gradiente de temperatura. Por tanto, la temperatura de secado y la capa de semillas deben ser reducidas proporcionalmente a medida que aumenta el contenido de humedad inicial de la semilla.

Otra relación importante, se da entre la altura de la capa de semillas y el flujo del aire. La resistencia al flujo del aire de los cultivos, depende de la forma, tamaño, y variabilidad del tamaño de la semilla, así como el contenido de humedad e impurezas del lote de semillas

(Hummeida y Ahmed, 1989).

Boyd *et al.* (Sin fecha) mencionan que incrementando la capa de semilla, decrece el flujo de aire y aumenta el tiempo de secado o se puede eliminar por completo la posibilidad de secar, de los resultados de su trabajo en semilla de soya, los autores encontraron que aumentando al doble la capa de semillas el tiempo de secado se duplicó. En ese mismo orden de ideas, Hall (1980) señala que a mayor profundidad, mayor es el sobresecado para un flujo de aire en particular. Por lo tanto, para aire caliente de secado, a temperaturas superiores a los 37°C (100°F) es recomendable que el espesor de la capa de semilla sea de 0.45 m o menos.

MATERIALES Y METODOS

Descripcion del Secador Experimental

Basado en las recomendaciones de Dávila (1981), se utilizó un secador experimental, construido para la realización del presente trabajo (Figura 3.1.). El secador consistió de tres módulos individuales conectados entre sí por una tubería de PVC de 7.62 cm de diámetro. Cada módulo tuvo su propia fuente de calor y control de temperatura. La fuente de aire consistió en un ventilador centrífugo, tipo aspas rectas atrasadas, con un motor trifásico de 1/2 H.P., 220/440 volts, 50/60 Hertz. Y una velocidad de operación de 3450 r.p.m., transmisión directa, y flujo de aire de $14.17 \text{ m}^3/\text{min}$, con capacidad para soportar una presión estática de 12.7 cm de columna de agua. El flujo de aire se reguló por una válvula de bronce tipo compuerta instalada a la entrada de cada uno de los módulos o secadores.

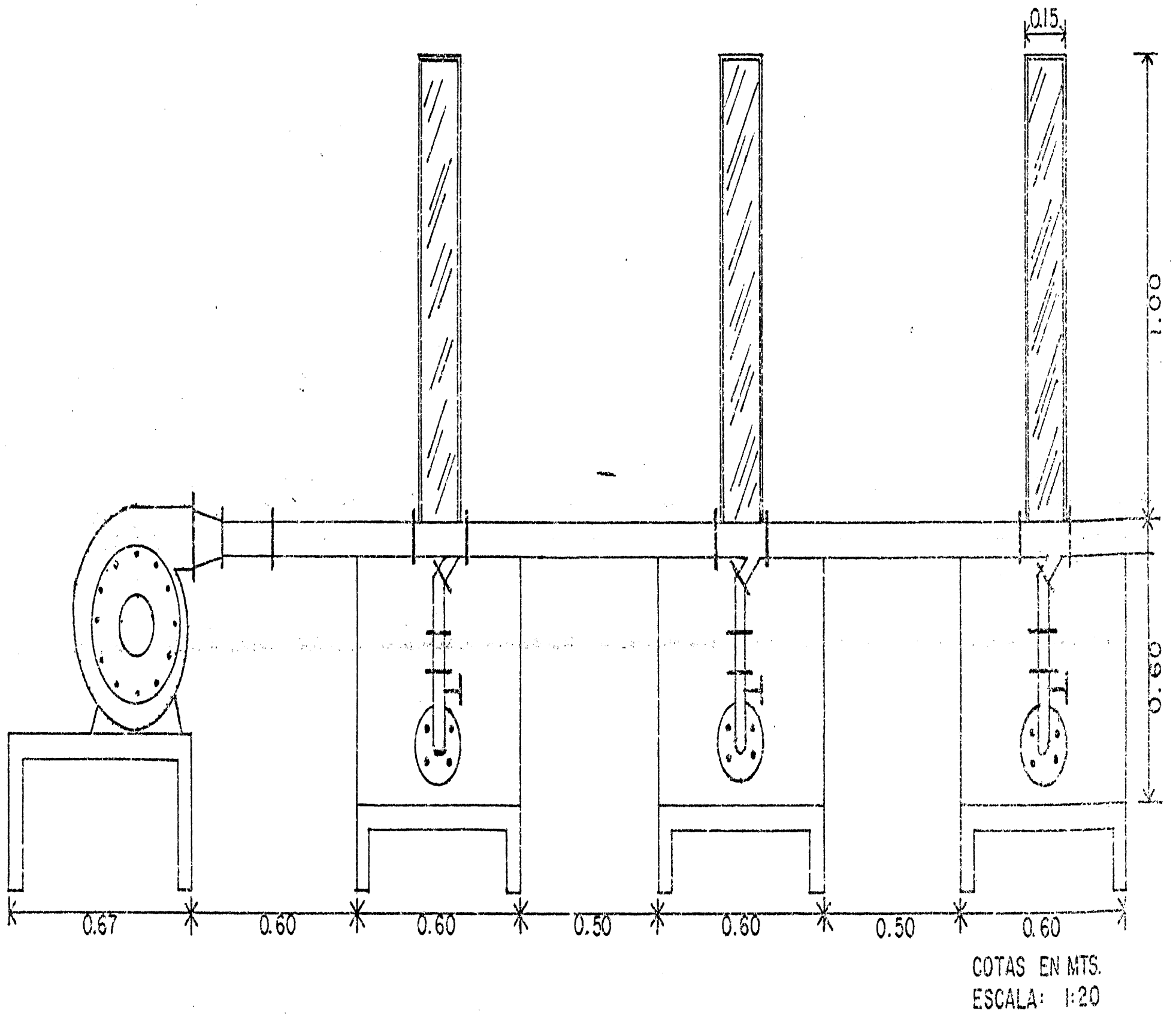
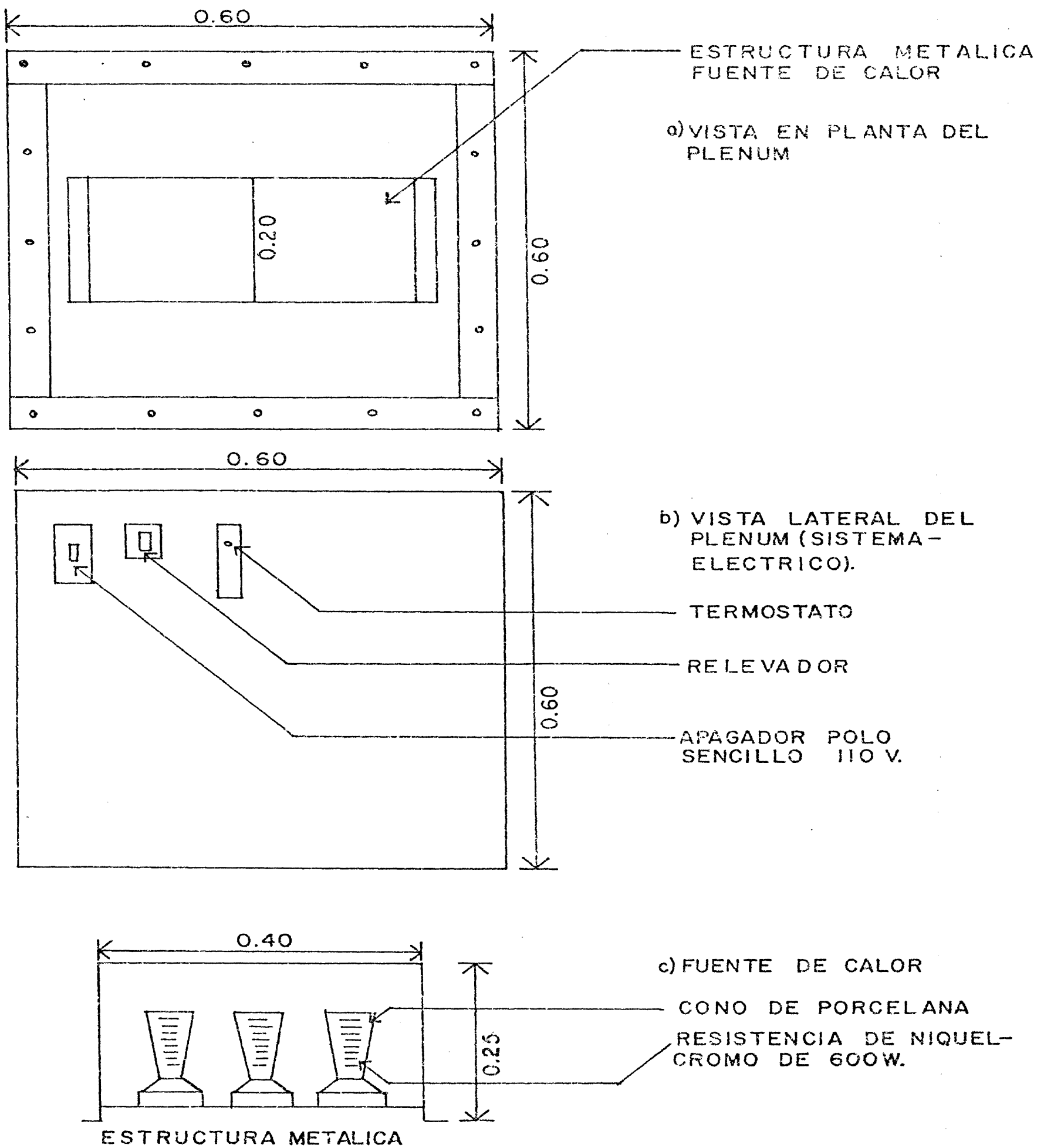


FIGURA 3.1 VISTA FRONTAL DEL SECADOR EXPERIMENTAL

Los módulos fueron contruídos con madera de pino de 6.4 mm de grosor. Y se montaron sobre una base metálica de 0.15 m de altura. El plénum de cada módulo consistió en un cubo de 0.60 m de lado (Fig. 3.2a.) el cual tuvo en su interior la fuente de calor. En el costado derecho del plenum (Fig. 3.2b.) se instaló el control automático de temperatura, el cual consistió de un termostato de precisión ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), un relevador y un interruptor eléctrico de polo sencillo. Este dispositivo permitió ajustar la temperatura de secado en cada módulo, de manera que esta permaneció constante durante toda la operación de secado.

La fuente de calor en cada módulo (Fig. 3.2c.), consistió de tres conos de porcelana, con resistencias tipo bobina de 4 mm de diámetro exterior, contruídas con una aleación de níquel-cromo, calibre número 24, de 127 volts y 600 Watts, montadas en el interior de una estructura laminar, descubierta en su parte frontal y posterior, y colocada a la entrada del aire. De esta forma, el aire eleva su temperatura al pasar por los conos de porcelana antes de ingresar a la cámara de secado.



COTAS EN MTS.
 ESCALA: 1:10

FIGURA 3.2 PLENUM Y FUENTE DE CALOR

La cámara o torre de secado (Fig. 3.3.), consistió en un prisma rectangular de 0.15 x 0.15 m de base y 1.0 m de altura. La parte superior fue descubierta, para permitir la introducción de la semilla; la cual se observó a través de un vidrio transparente calibre 20, colocado en la parte frontal. En la parte posterior de la cámara de secado se instaló la descarga de la semilla, que permitió coleccionar cada unidad experimental, una vez finalizada la operación de secado. En la base de la cámara de secado se encontró una tela de alambre tipo mosquitero con dimensiones de 0.15 x 0.15 m, la cual sostiene la columna de semillas, y a la vez permite la entrada del aire al interior de la torre de secado.

Sitio Experimental

Se seleccionó un lote de producción de semilla de sorgo, del programa de producción de semilla híbrida comercial de Asgrow Mexicana, S.A. de C.V. El lote se localizó en el municipio de Valle Hermoso, Tamaulipas, que se encuentra a 27 km al suroeste de la ciudad de Matamoros. Su ubicación geográfica es entre los 25°30' y 26°00' de latitud norte, y entre los 97°30' y 98°00' de longitud

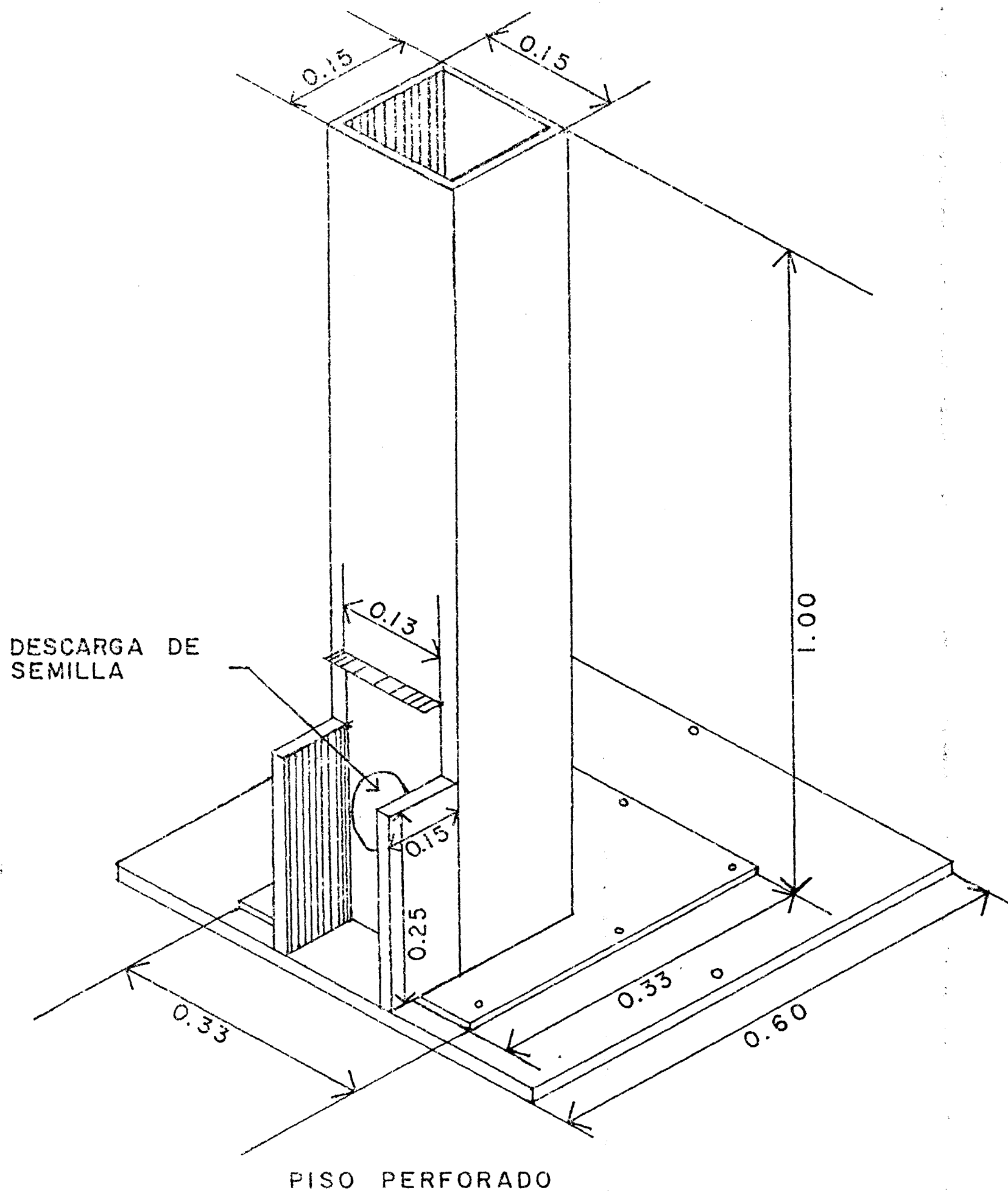


FIGURA 3.3 TORRE DEL SECADOR EXPERIMENTAL

oeste. Su clima, según el sistema de Köpen, modificado por García en 1964, se clasifica como semiseco o semiárido, muy cálido, con una temperatura media anual de 22°C, la temperatura media del mes más caliente (Julio), es de 32.5°C y la del mes más frío (Enero), menor de 18°C. Presenta régimen de lluvias en verano, con cero a veintinueve días de lluvia al año, y precipitaciones medias de mayo a julio de 385 mm. (Comisión de estudios del Territorio Nacional, 1970).

EL acondicionamiento y operación de secado se realizó en las instalaciones de la planta de semillas de Asgrow Mexicana, S.A. de C.V. ubicada en la ciudad de Matamoros, Tamaulipas. El almacenamiento de la semilla y las pruebas de calidad fisiológicas respectivas se efectuaron en el laboratorio de análisis de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Material Genético

Se utilizó semilla del híbrido Topaz, material destinado a la producción de grano, clasificado como de madurez intermedia, ya que alcanza la floración a los 60-75 días, y está listo para su cosecha a los 105-130 días. Es un híbrido de altura moderadamente baja, con una panoja compacta, y grano color bronceado, recomendado para el noreste del país.

Manejo Agronómico del Cultivo

La preparación del terreno consistió en un barbecho, dos pasos de rastra y bordeo. Se aplicaron dos riegos; uno en presiembra, el 25 de enero, y otro de auxilio, el 21 de abril. La siembra del progenitor masculino se hizo entre el 13 y el 15 de febrero, y la del progenitor femenino entre el 27 de febrero y el 3 de marzo, utilizando una relación de surcos hembra-macho de 18:6. Se dieron dos aplicaciones de fertilizante; en presiembra, usando 100 Kg/ha de la fórmula 18-46-00, y antes del primer riego de auxilio, utilizando 150 Kg/ha de amoníaco.

En la tercera semana de abril, se utilizaron 1.0 lt/ha de Fulthion, para el control de pulgón; en la primera semana de abril se detectó la presencia de chinche, la que fue controlada aplicando 0.250 Kg/ha de Actellic, más 0.5 lt/ha de Tecto 60, para el control de hongos, principalmente *Penicillium* spp. y *Aspergillus* spp. Se efectuaron dos cultivos y dos deshierbes manuales, así como una poda en los dos surcos centrales del progenitor masculino, con el propósito de retrasar 4 a 5 días la floración; la poda se realizó dejando la planta a una altura de 5 cm. Finalmente, se realizaron dos desmezcles, el primero, para eliminar plantas altas; entre el 3 y el 6 de mayo, y un segundo desmezcle, para eliminar hembras fértiles, entre el 8 y el 14 de mayo.

Cosecha y Acondicionamiento

Antes de la cosecha se realizaron muestreos periódicos para determinar la humedad de la semilla, al presentarse los contenidos de humedad establecidos en los tratamientos, se efectuó la cosecha de la semilla utilizando una hoz y cortando las panojas o espigas, dejando aproximadamente 10 cm de tallo floral. El tiempo

transcurrido entre cortes fue relativamente corto (Cuadro A.1.). Las panojas se depositaron en sacos de plástico perforados (Arpillas), y se trasladaron a la planta de acondicionamiento, donde se desgranaron manualmente.

El acondicionamiento se realizó con la intención de simular el flujo de la semilla por la máquina prelimpiadora y consistió en pasar la semilla a través de una criba de perforaciones circulares con diámetro de 7.8 mm (12/64 de pulgada, de esta manera se eliminó el material grande (material de mayor tamaño que la semilla, como raquis, pedazos de hojas, etc). El material fino y la mayor parte de las glumas se eliminaron utilizando un aspirador fraccionario de laboratorio. El resultado final fue una semilla libre de impurezas o material extraño, pero con una buena cantidad de glumas adheridas a los granos, (Situación característica de este material, y que representa la condición con la cual ingresa a los silos secadores, en la planta de acondicionamiento). La semilla acondicionada se almacenó en sacos de polipropileno, durante 24 horas, a una temperatura de 14°C y una humedad relativa de 65 por ciento, en tanto se iniciaba el secado de la misma.

Operación de Secado

El secador experimental se instaló en el área de acondicionamiento de la planta de semillas donde se colocó un higrotermógrafo, a fin de monitorear la temperatura y humedad relativa durante el periodo de secado. La temperatura y humedad relativa promedio registradas fueron de 25.9°C y 83.8 por ciento respectivamente (Cuadro A.2).

El flujo de aire utilizado para todos los tratamientos fue de 3.0 m³/min, esto originó una presión estática que osciló de 12.7 a 15.2 cm de columna de agua. La temperatura del aire de secado varió de acuerdo a los tratamientos especificados.

La semilla acondicionada y con el contenido de humedad propio de cada tratamiento, se introdujo a la cámara de secado de cada módulo; hasta alcanzar una altura de 30 cm, lo cual equivalió aproximadamente a tres kg de semilla por unidad experimental.

El descenso en el contenido de humedad de la semilla y la presión estática generada en el plenum de cada

secador se monitoreó cada 15 minutos. La primera operación se hizo introduciendo un muestreador de semillas de alveolos de 1.5 m de longitud dentro de la cámara de secado; posteriormente se midió el contenido de humedad en un determinador de humedad marca Dole. La presión estática se midió utilizando un manómetro marca Dwyer, con escala de cero a diez pulgadas de columna de agua. El secado de la semilla concluyó cuando esta alcanzó un contenido de humedad de 14 por ciento, en el estrato superior de la capa de semillas (20 a 30 cm de altura). Los tiempos de secado, para los diferentes tratamientos, variaron de una a 14 horas (Cuadro A.3.).

La semilla seca se guardó en envases de doble capa; de papel en el interior, y una capa externa de plástico. Y posteriormente se almacenó en un cuarto frío, donde se mantuvo a una temperatura promedio de 8°C y una humedad relativa de 70 por ciento. Hasta su traslado al laboratorio de semillas de la UAAAN, en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Diseño Experimental y Tratamientos

Las variables evaluadas fueron analizadas bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial y tres repeticiones. Los tratamientos se formaron por la combinación de los siguientes factores.

A. Contenido de Humedad de la Semilla.

A₁ . 15 %

A₂ . 18 %

A₃ . 21 %

A₄ . 27 %

B. Temperatura de Secado.

B₁ . 39° C

B₂ . 41° C

B₃ . 43° C

C. Altura de la Capa de Semillas.

C₁ . 0 - 10 cm

C₂ . 10 - 20 cm

C₃ . 20 - 30 cm

D. Días de Almacenamiento.

D₁. 0 días.

D₂. 60 días.

D₃. 120 días.

Esto nos da un total de 36 tratamientos y 108 unidades experimentales.

Variables Evaluadas

Variables de Calidad Física

Peso de Mil Semillas

Se contaron cuatro repeticiones de 100 semillas, y se pesaron en una balanza electrónica con precisión de 0.1 g; se calculó el coeficiente de variación, y cuando dicho valor fue superior a cuatro se repitió la observación en otras cuatro repeticiones, en caso contrario la media de las observaciones se multiplicó por diez, para expresar el resultado como el peso de 1000 semillas. (ISTA, 1985).

Peso Hectolítrico

Se utilizó una balanza de peso hectolítrico, tipo OHAUS, y se siguió la metodología descrita por ISTA (1985). En los casos en que por falta de semilla, no fue posible el uso de dicha balanza, se utilizó un vaso de precipitado de 250 ml, pesando la semilla en una balanza electrónica con precisión de 0.1 g y extrapolando el resultado a un volumen de un hectolítro. El resultado se expresó en kilogramos de semilla por hectolítro.

VARIABLES DE CALIDAD FISIOLÓGICA

Germinación Estandar

Se utilizaron dos repeticiones de 100 semillas previamente tratadas con fungicida, para cada unidad experimental, que se sembraron en toallas húmedas de papel de 38 x 25 cm enrolladas y que se introdujeron en una cámara germinadora de alta capacidad a una temperatura de 25°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante siete días, con 8 horas de luz y 16 de oscuridad diariamente. A los tres y siete días se realizaron dos conteos o evaluaciones de plántulas. Estas se clasificaron como normales y anormales, y se contaron en la evaluación final las semillas latentes y muertas,

siguiendo el criterio de evaluación propuesto por la ISTA (1985); los resultados se expresaron como porcentaje de plántulas normales, anormales, semillas latentes y muertas.

Primer Conteo de Germinación

Esta evaluación, fue considerada como observación de vigor y para ello se anotaron las plántulas normales obtenidas en el primer conteo de la prueba de germinación estandar (a los tres días de permanencia en la cámara germinadora). Tomando como criterio de evaluación el propuesto por ISTA (1985); el resultado se expresó como porcentaje de plántulas normales al primer conteo.

Vigor mediante Envejecimiento Acelerado

Se tomaron dos repeticiones de 100 semillas, previamente tratadas con fungicida las cuales se colocaron sobre una base de tela perforada tipo mosquitero, montadas en una base tubular del mismo material, de siete centímetros de longitud introducidas en un vaso de precipitado de 500 ml, al cual se le adicionó 100 ml de agua. El vaso fue finalmente cerrado en forma hermética con una cubierta de plástico y asegurada con una liga de hule, siguiendo las recomendaciones de AOSA (1983).

Todos los tratamientos fueron introducidos a una cámara de envejecimiento acelerado durante 72 horas, las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de la cámara fueron de 45°C y 90 por ciento de humedad respectivamente. Al término del período de envejecimiento, la semilla se ensayó en la prueba estandar de germinación de manera similar a lo descrito anteriormente y bajo las mismas condiciones. A los siete días se hizo una única evaluación registrándose las plántulas normales, anormales, semillas latentes y muertas, siguiendo el criterio propuesto por ISTA (1985), los resultados se expresaron en forma porcentual, y la observación de vigor correspondió al por ciento de germinación normal después de envejecimiento acelerado.

Indice Acumulado de Velocidad de Emergencia

De cada unidad experimental se tomaron 50 semillas previamente tratadas con fungicida, y se sembraron en una cama de invernadero, a una profundidad de tres centímetros, formando hileras de 50 centímetros de longitud y con un espaciamiento de 10 cm entre hileras. El invernadero tuvo un ambiente semicontrolado (la temperatura en el interior se mantuvo arriba de 25°C durante las

evaluaciones); lo anterior se realizó en las instalaciones de la UAAAN.

Diariamente se contaron las plántulas emergidas a partir de los primeros indicios de emergencia. Los conteos se concluyeron, cuando la emergencia de plántulas en todos los tratamientos alcanzó el máximo valor y no se presentó emergencia más allá de este. Los resultados se reportaron como índice de velocidad de emergencia (IAVE), y para la obtención del mismo, se utilizó la siguiente fórmula : (Popiginis, 1985).

$$IAVE = \sum \frac{\text{no. p.}}{d} + \dots + \frac{\text{no. p.}}{d}$$

Donde:

IAVE = Índice acumulado de velocidad de emergencia

no. p. = Número de plántulas emergidas.

d = Días después de la siembra.

Emergencia Total

Esta correspondió al total de plántulas emergidas, en cada hilera o unidad experimental, al final de las evaluaciones del índice acumulado de velocidad de

emergencia. Los resultados se expresaron en forma porcentual.

Análisis Estadístico

Antes de realizar los análisis estadísticos correspondientes, se efectuaron transformaciones estadísticas en los resultados obtenidos, a fin de cumplir con los supuestos básicos del análisis de varianza (Rodríguez, 1991).

Las transformaciones utilizadas fueron las siguientes.

$\text{arc sen } \sqrt{\frac{\text{porcentaje}}{100}}$: Para aquellas variables que se expresaron en forma porcentual y que no incluyeron valores iguales a cero (Germinación estandar, primer conteo y germinación después de envejecimiento acelerado).

$\sqrt{x + 1}$: Para aquellas variables que incluyeron valores iguales a cero. (porcentaje de plántulas anormales, semillas latentes y muertas).

Los resultados se analizaron bajo los siguientes modelos estadísticos.

a) Diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 3 x 3 y tres repeticiones. Para las variables de calidad física y cuyo modelo es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \gamma_k + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + E_{ijkl}$$

Donde:

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$$j = 1, 2, 3$$

$$k = 1, 2, 3$$

$$l = 1, 2, 3$$

Y_{ijkl} = Variable observada.

μ = Media general.

α_i = Efecto del i -ésimo contenido de humedad a cosecha.

β_j = Efecto de la j -ésima temperatura de secado.

γ_k = Efecto de la k -ésima altura de la capa de semillas.

E_{ijkl} = Efecto de la l -ésima repetición.

b) Diseño completamente al azar con arreglo factorial $4 \times 3 \times 3 \times 3$ y tres repeticiones. Para las variables de calidad fisiológica, con su modelo correspondiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \gamma_k + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} \\ + \theta_l + \alpha\theta_{il} + \beta\theta_{jl} + \alpha\beta\theta_{ijl} + \gamma\theta_{kl} + \alpha\gamma\theta_{ikl} \\ + \beta\gamma\theta_{jkl} + \alpha\beta\gamma\theta_{ijkl} + E_{ijklm}$$

Donde:

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$$j = 1, 2, 3$$

$$k = 1, 2, 3$$

$$l = 1, 2, 3$$

$$m = 1, 2, 3$$

Y_{ijklm} = Variable observada.

μ = Media general.

α_i = Efecto del i -ésimo contenido de humedad a cosecha.

β_j = Efecto de la j -ésima temperatura de secado.

γ_k = Efecto de la k -ésima altura de la capa de semillas.

θ_l = Efecto del l -ésimo día de almacenamiento.

E_{ijklm} = Efecto de la m -ésima repetición.

c) Diseño completamente al azar con tres repeticiones. Para la germinación estandar, de la semilla sin secar, con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

Donde:

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$$j = 1, 2, 3$$

Y_{ij} = Variable observada.

μ = Media general.

α_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

E_{ij} = Efecto de la j -ésima repetición.

En los casos en que se encontraron diferencias con significancia estadística, se aplicó la prueba de tukey con un nivel de significancia (α) igual a 0.01 ; para separar las medias en cuestión.

RESULTADOS Y DISCUSION

Al evaluar el efecto del secado sobre la calidad física y fisiológica de la semilla de sorgo a diferentes contenidos de humedad de la semilla, temperaturas de secado y altura de la capa de semilla; así como el efecto a través del tiempo en la semilla almacenada, se presentan los resultados para cada variable, tanto de calidad física como fisiológica. Se describe el efecto observado en cada una de estas y su comportamiento a través del período de almacenamiento. Finalmente se mencionan las principales correlaciones observadas entre las variables estudiadas.

Calidad Física

Peso Hectolítrico.

Según se observa en el Cuadro A.5., se obtuvieron diferencias significativas, entre los contenidos de humedad a cosecha (A), y su interacción con la temperatura de secado (AxB). El análisis de medias (Cuadro 4.1.) revela la tendencia a un descenso en los valores de peso hectolítrico

Cuadro 4.1. Medias del peso hectolítrico (P.Hl.) y peso de mil semillas (P.M.S.) de semilla de sorgo.

Factores		P.Hl.	P.M.S.
C.H. (A)	15 %.	61.03 B	36.73 A
	18 %.	68.44 A	36.34 B
	21 %.	67.50 A	36.54 AB
	27 %.	68.40 A	36.92 A
T.S. (B)	39° C.	66.50 A	36.95 A
	41° C.	66.14 A	36.59 B
	43° C.	66.39 A	36.36 B
C.S. (C)	0 - 10 cm	66.23 A	36.57 A
	10 - 20 cm	66.24 A	36.76 A
	20 - 30 cm	66.55 A	36.56 A

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. (Tukey; $\alpha = 0.01$).

C.H. = Contenido de Humedad.

T.S. = Temperatura de Secado.

C.S. = Altura de la Capa de Semillas.

a medida que disminuye el contenido de humedad de la semilla, si bien estadísticamente, únicamente la cosecha con 15 por ciento de contenido de humedad, fue significativamente diferente al resto de los valores.

No se observa variación significativa en el peso volumétrico, por efecto de la temperatura de secado, (Fig. 4.1.), o por efecto de la altura de la capa de semilla. Respecto a la interacción entre el contenido de humedad y la temperatura de secado, (Cuadro 4.2.) podemos notar que

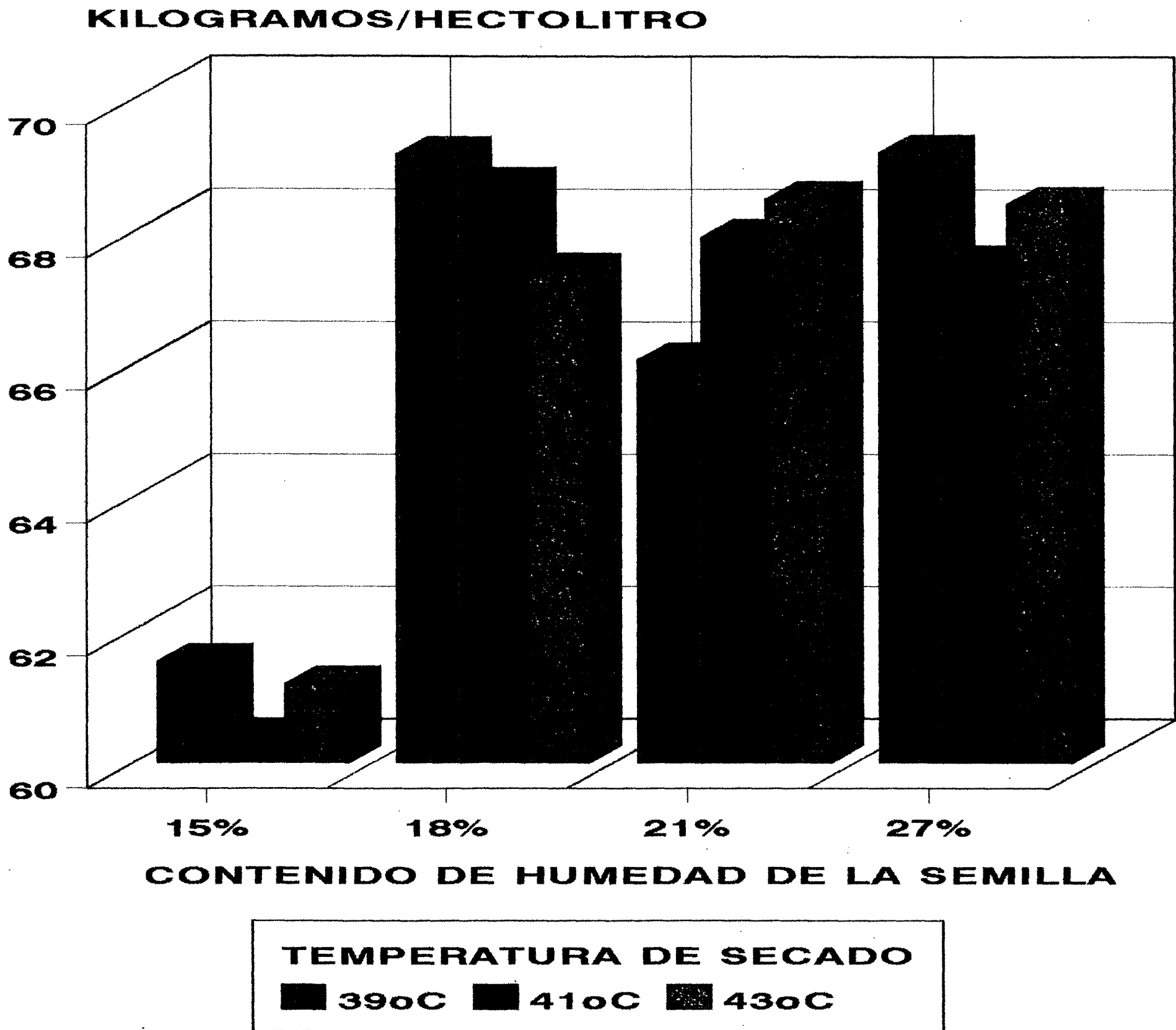


Figura 4.1. Peso Hectolítrico de la interacción del contenido de humedad de cosecha (A) y la temperatura de secado (B), de semilla de sorgo cosechada en Valle Hermoso, Tamaulipas.

Cuadro 4.2. Medias del peso hectolítrico (P.Hl.) y peso de mil semillas (P.M.S.) de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), y temperatura de secado (B) de semilla de sorgo.

F.V.		P.Hl.	P.M.S.
15%	39° C	61.52 C	36.66 B
	41° C	60.38 C	36.87 B
	43° C	61.19 C	36.67 B
18%	39° C	69.18 A	36.67 B
	41° C	68.72 A	36.22 B
	43° C	67.42 AB	36.12 B
21%	39° C	66.07 B	36.52 B
	41° C	67.93 AB	36.53 B
	43° C	68.51 AB	36.56 B
27%	39° C	69.21 A	37.94 A
	41° C	67.54 AB	36.72 B
	43° C	68.43 AB	36.09 B

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.
(Tukey; $\alpha = 0.01$).

Las variaciones observadas, son atribuibles al contenido de humedad, ya que para un mismo contenido de humedad, los valores obtenidos en cada temperatura de secado, son estadísticamente iguales, lo anterior denota que la operación de secado, no alteró el peso volumétrico de la semilla.

Peso de Mil semillas.

Para el peso de mil semillas, el Cuadro A.5. muestra significancia estadística en el contenido de humedad de la semilla a cosecha, la temperatura de secado, y su interacción; En el Cuadro 4.1. se observa que los valores obtenidos siguen un comportamiento similar al peso hectolítrico, en general, a medida que disminuye el contenido de humedad a cosecha, disminuye el peso de mil semillas, aunque si bien estas diferencias no son significativas estadísticamente, el único valor diferente, correspondió a la semilla cosechada con un 21 por ciento de contenido de humedad.

En relación a las temperaturas de secado, se observa que la temperatura media y alta (41 y 43°C), provocaron una disminución en el peso de mil semillas. (Fig. 4.2.). Sin embargo, al observar la interacción entre el contenido de humedad y la temperatura de secado, (Cuadro 4.2.) Se observa que a excepción de la semilla con un contenido de humedad de 27 por ciento, secada a una temperatura de 43°C, el resto de los valores son iguales, lo anterior significa que el secado no ejerció influencia en el peso de mil semillas, al menos para contenidos de

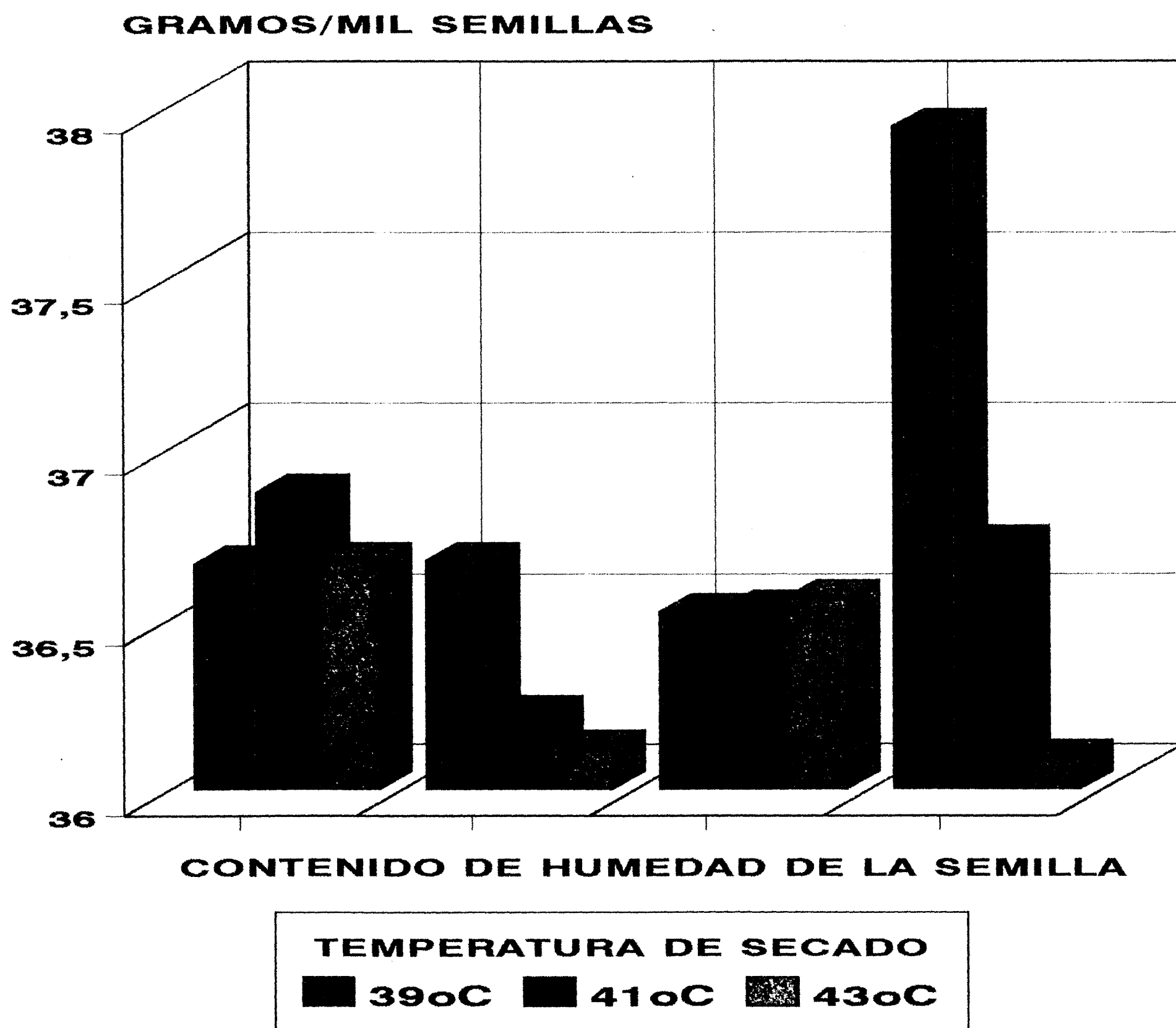


Figura 4.2. Peso de mil semillas de la interacción del contenido de humedad de cosecha (A) y la temperatura de secado (B), de semilla de sorgo.

humedad menores a 21 por ciento.

El comportamiento observado para las variables de calidad física evaluadas en este trabajo, concuerda con los resultados obtenidos por Flores (1989), quien encontró una disminución en el peso volumétrico y peso de 1000 semillas, en el cultivo de sorgo, estas diferencias fueron mayores a medida que transcurrió el tiempo entre cosechas aumentando el deterioro de la semilla.

Asimismo, Peplinsky *et al.* (1975) mencionan que el grano cosechado a un mayor contenido de humedad muestra un mayor peso hectolítrico después del secado, que el grano cosechado a un menor contenido de humedad.

En resumen, la mejor calidad física de la semilla, medida por el peso hectolítrico y el peso de mil semillas, se obtuvo en la semilla cosechada a los mayores contenidos de humedad (menor grado de deterioro por exposición a las condiciones ambientales); y el proceso de secado no ejerció influencia marcada en la calidad física de la semilla de sorgo, a los diferentes contenidos de humedad evaluados.

Calidad Fisiológica

Germinación Estandar

Antes de proceder a realizar la operación de secado, se evaluó la germinación de cada una de las cosechas (Cuadro A.2.). En general, la calidad de semilla obtenida, expresada como por ciento de germinación, fue aceptable, ya que todos los valores fueron superiores a 90 por ciento, la tendencia general, fue un descenso en el porcentaje de germinación, a medida que se retrasó la cosecha, sin embargo, en el análisis de varianza respectivo (Cuadro 4.3.), se encontró que las medias de germinación a los cuatro cortes o contenidos de humedad, fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios y significancia de las variables de germinación estandar [Plántulas normales (P.N.), anormales (P.A.), y semillas latentes (S.L.)] en semilla de sorgo.

F.V.	P.N.	P.A.	S.L.
Contenido de Humedad.	10.003 N.S.	0.304 N.S.	0.646 N.S.
Repetición.	5.575 N.S.	0.304 N.S.	0.130 N.S.
C.V.	5.10%	29.37%	35.33%

N.S. = No significativo.

El análisis de varianza, para las variables de germinación estandar, después del secado de la semilla, (Cuadro A.6.) indica diferencias significativas para el contenido de humedad a cosecha, temperatura de secado, días de almacenamiento, y sus interacciones; el factor C (altura de la capa de semillas), solo fue significativo en el caso de plántulas anormales y semillas latentes, sin embargo, su interacción con los demás factores no resultó estadísticamente significativa.

Las medias de germinación obtenidas durante todo el período de almacenamiento (Cuadro 4.4.) muestran altos porcentajes de germinación, con valores que oscilan entre 91.1 y 97.2 por ciento; se observa que los valores más altos de germinación se obtuvieron en semilla cosechada a los menores contenidos de humedad, esto muestra una aparente susceptibilidad de la semilla al secado al aumentar su contenido de humedad. La mayor capacidad de germinación al finalizar el período del estudio, se observó en la semilla cosechada a 15 y 18 por ciento de contenido de humedad.

Cuadro 4.4. Medias del porcentaje de plántulas normales (P.N.); anormales (P.A.), y semillas latentes (S.L.), durante la prueba de germinación estandar, de semilla de sorgo.

Factores		P.N.		P.A.		S.L.	
C.H. (A)	15 %.	97.3	A	0.8	BC	0.5	D
	18 %.	97.0	A	0.7	C	1.9	C
	21 %.	92.6	C	1.1	AB	5.0	A
	27 %.	94.1	B	1.2	A	3.3	B
T.S. (B)	39 ^o C.	96.6	A	0.9	AB	1.4	C
	41 ^o C.	95.9	B	0.9	AB	2.2	B
	43 ^o C.	93.6	C	1.2	A	3.8	A
C.S. (C)	0 - 10 cm	95.5	A	1.0	A	2.5	A
	10 - 20 cm	95.2	A	1.0	A	2.7	A
	20 - 30 cm	95.6	A	1.0	A	2.2	A
D.A. (D)	0 Días.	91.1	B	1.4	A	6.6	A
	60 Días.	97.0	A	0.6	B	0.9	B
	120 Días.	97.2	A	0.9	B	1.2	B

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.
(Tukey; $\alpha = 0.01$).

C.H. = Contenido de Humedad.

T.S. = Temperatura de Secado.

C.S. = Altura de la Capa de Semillas.

D.A. = Días de almacenamiento.

Los valores de germinación en cada estrato o capa de semillas, no muestran diferencia estadística (Cuadro 4.4.) lo cual significa que no existió un sobresecado en las diferentes secciones del secador.

En relación a la temperatura de secado, un aumento en la misma redujo la germinación de la semilla (Figura 4.3.). Esta reducción en la capacidad de germinación no es

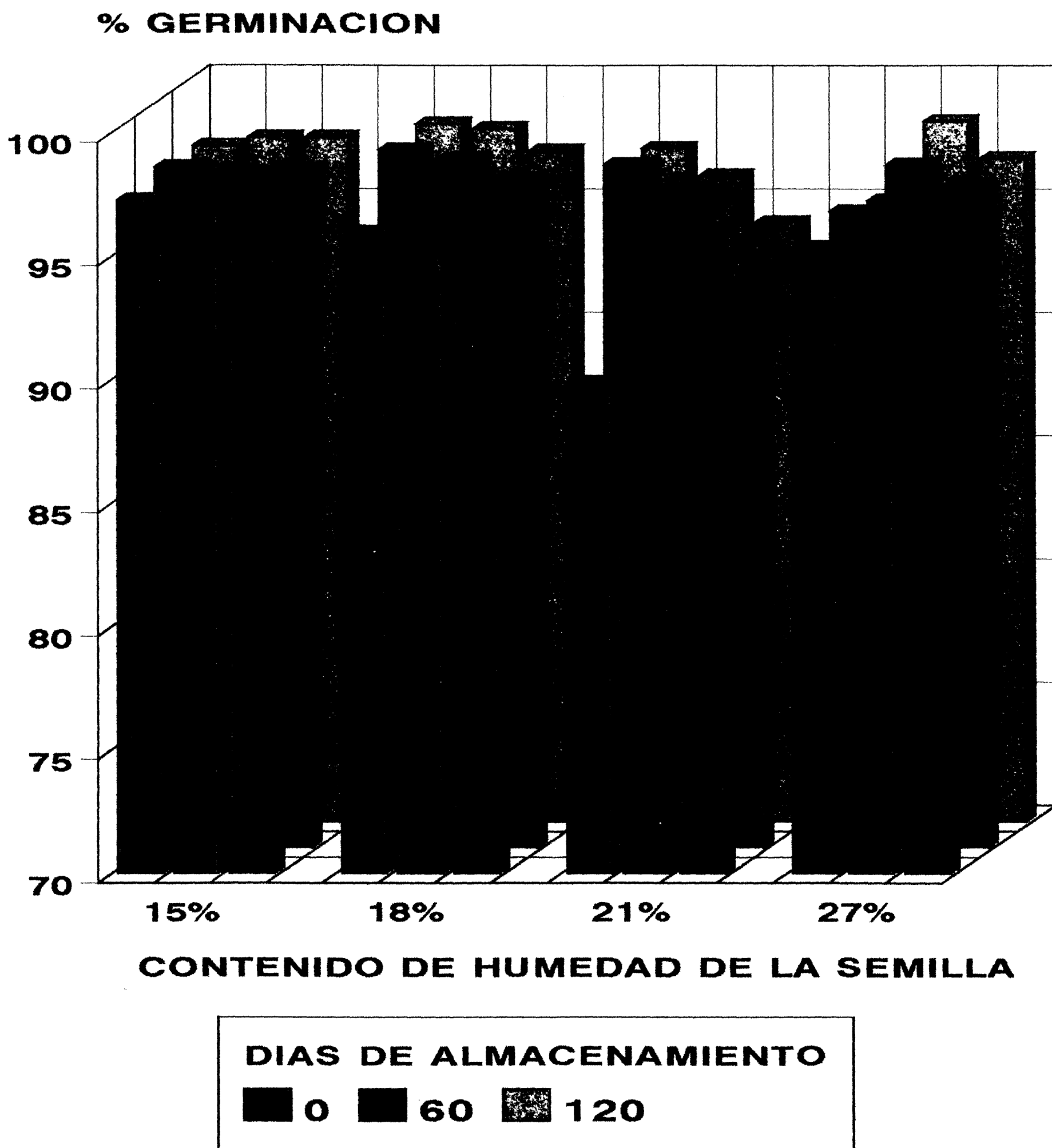


Figura 4.3. Plántulas normales en germinación estandar, de la interacción del contenido de humedad de cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D) de semilla de sorgo.

permanente, al observar el comportamiento de esta variable en relación a los días de almacenamiento, (Cuadro 4.4.) vemos que esta mejoró a medida que avanzó el período de almacenamiento, hasta llegar a promediar 97.2 por ciento para todos los tratamientos. El efecto más notable del secado fue la inducción de latencia, e inducción de anomalías.

El Cuadro 4.5. muestra el comportamiento de la germinación a través del tiempo, la presencia de latencia se acentuó para contenidos de humedad de 21 y 27 por ciento, presentándose los valores más bajos en germinación; desde 73.5 por ciento. El efecto de la temperatura de inducir latencia fue más notable a altos contenidos de humedad, donde se observó que los efectos de las diferentes temperaturas fueron estadísticamente diferentes entre sí; en los contenidos de humedad de 18 y 15 por ciento, no se observó un efecto de la temperatura, igualmente los contenidos de humedad de 21 y 27 por ciento, mostraron una mejora de la germinación a través del tiempo, mientras que los valores de 18 y 15 por ciento, no variaron estadísticamente a través del período de estudio. A los 120 días de almacenamiento, todos los

Cuadro 4.5. Medias de Germinación estandar, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, de semilla de sorgo.

F.V.	Días de almacenamiento						
		0		60		120	
15%	39° C	97.3	ABC	97.6	ABC	97.4	ABC
	41° C	97.1	ABC	97.3	ABC	97.7	ABC
	43° C	96.4	ABCD	97.5	ABC	97.7	ABC
18%	39° C	96.0	ABCD	98.3	A	98.3	A
	41° C	94.7	BCDE	97.9	ABC	98.1	AB
	43° C	92.7	DEF	97.1	ABC	97.2	ABC
21%	39° C	89.9	EFG	97.7	ABC	97.3	ABC
	41° C	84.2	G	96.7	ABCD	96.2	ABCD
	43° C	73.5	H	92.6	DEF	94.3	CDE
27%	39° C	95.4	ABCD	95.8	ABCD	95.2	ABCD
	41° C	87.3	FG	97.1	ABC	98.4	A
	43° C	72.4	H	96.8	ABCD	96.9	ABCD

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.
(Tukey; $\alpha = 0.01$).

tratamientos (a excepción de 15%-43° C), fueron estadísticamente iguales, y presentaron valores de germinación que variaron de 94.3 a 98.4 por ciento; por otra parte, el porcentaje de semillas latentes aumentó con la temperatura de secado y con el contenido de humedad de la semilla (Cuadro 4.4.), a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento, el porcentaje de semillas latentes disminuyó. De manera que esta aparente mejora en la calidad de la semilla, se atribuye a una pérdida de latencia, la

cual ocurrió a los 60 días de almacenamiento, tiempo a partir del cual la germinación de la semilla se mantuvo en niveles aceptables y estadísticamente iguales, hasta el final del período de estudio, lo cual indica que la operación de secado no afectó la germinación de la semilla de sorgo.

Esta inducción de latencia, concuerda con las observaciones de Nutile y Woodstock (1967) quienes observaron el fenómeno de latencia en la semilla de sorgo al aplicar un secado a la semilla, encontrando que el grado de latencia aumentó en relación directa al tiempo en que se sometió la semilla a la exposición de aire caliente (mayor reducción en contenido de humedad).

En relación a la presencia de plántulas anormales, el Cuadro 4.4 muestra como estas resultaron significativamente mayores a contenidos de humedad de la semilla de 21 y 27 por ciento, y a una temperatura de 43°C. Si bien esta diferencia es mínima, del orden de un 0.5 y 0.3 por ciento, para el contenido de humedad de la semilla y temperatura de secado respectivamente, se pone de manifiesto la susceptibilidad de la semilla al daño por

secado a altas temperaturas y contenidos de humedad de la semilla. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Thomson (1979) en relación a que un aumento en la temperatura de secado, propicia un aumento en el número de plántulas anormales.

Primer Conteo de Germinación.

El primer conteo de germinación, utilizado como una variable de vigor, muestra diferencias altamente significativas para el contenido de humedad de la semilla a cosecha, la temperatura de secado, los días de almacenamiento, así como las diferentes interacciones entre estos factores (Cuadro A.7.). No así para el vigor de la semilla en relación a la altura de la capa de semillas. Al observar las medias de cada factor al final del período de almacenamiento (Cuadro 4.6.) se notó que el secado aparentemente redujo el vigor de la semilla, de acuerdo al primer conteo de germinación, y que esta reducción fue mayor en los contenidos altos de humedad, siendo del orden de 11 por ciento; en relación a la temperatura de secado, la tendencia observada (Fig. 4.4.) es una disminución en el porcentaje de plántulas normales a medida que se aumentó la temperatura de secado, si bien las temperaturas de 39 y

Cuadro 4.6. Medias de plántulas normales, al primer conteo de germinación (P.C.), de semilla de sorgo.

Factores		P.C.
Contenido de Humedad	15 %.	95.2 A
	18 %.	90.4 B
	21 %.	84.0 C
	27 %	89.1 B
Temperatura de Secado	39°C.	91.4 A
	41°C.	91.6 A
	43°C.	86.2 B
Altura de la capa de Semillas	0 - 10 cm	90.0 A
	10 - 20 cm	89.6 A
	20 - 30 cm	90.5 A
Días de Almacenamiento	0 Días.	78.1 B
	60 Días.	94.9 A
	120 Días.	94.0 A

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. (Tukey; $\alpha = 0.01$).

y 41°C son estadísticamente iguales, la reducción observada al aplicar la temperatura de 43°C es de 5.75 por ciento en relación a la temperatura de 39°C. El factor D, o altura de la capa de semillas, no mostró diferencia estadística en sus diferentes valores para plántulas normales, en el primer conteo de germinación.

Esta reducción en el vigor puede explicarse, al igual que para la capacidad de germinación medida por la prueba estandar, como una inducción de latencia, esto se

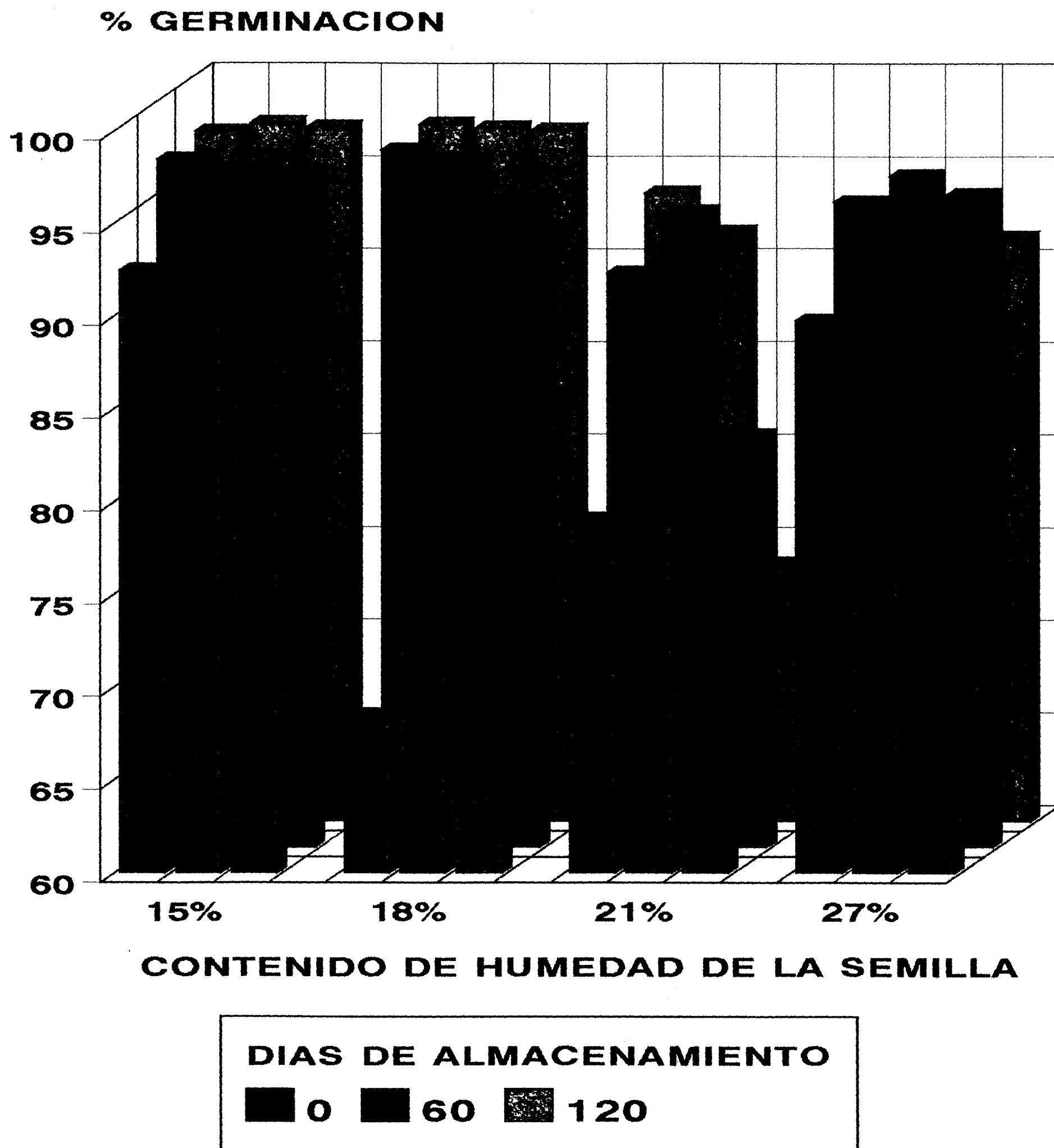


Figura 4.4. Plántulas normales en primer conteo de germinación, de la interacción del contenido de humedad de cosecha (A), temperatura de secado (B) y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.

manifiesta al observar los valores medios en cada período de almacenamiento, (Cuadro 4.6.) el número de plántulas normales al primer conteo, aumentó significativamente a los 60 días, y permaneció constante hasta el final de la prueba. Comportamiento similar al observado en la germinación estandar. Al analizar la interacción entre el contenido de humedad, la temperatura de secado y el período de almacenamiento (Cuadro 4.7.) el comportamiento del primer conteo de germinación es similar a la germinación estandar, al finalizar la operación de secado, se obtienen valores muy bajos de plántulas normales al primer conteo, menores a 80 por ciento, a excepción de la semilla con un contenido de humedad inicial de 15 por ciento; igualmente se observa el efecto de las altas temperaturas en las lecturas del primer conteo, este efecto es más acentuado, a medida que aumenta el contenido de humedad inicial de la semilla, posterior a la operación de secado, y para todos los contenidos de humedad, la temperatura de 43°C redujo de manera significativa el por ciento de plántulas normales observadas.

Cuadro 4.7. Medias del primer conteo de germinación, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, de semilla de sorgo.

F.V.	Días de almacenamiento						
	0	60		120			
15%	39° C	92.5	ABCDE	97.1	AB	97.2	AB
	41° C	91.2	ABCDE	96.6	AB	97.6	A
	43° C	88.3	DEFG	96.3	ABC	97.4	AB
18%	39° C	68.5	HIJ	97.6	A	97.6	A
	41° C	72.0	HIJ	97.0	AB	97.4	A
	43° C	63.7	IJ	94.9	ABCD	97.3	AB
21%	39° C	79.1	FGH	91.0	ABCDE	93.9	ABCD
	41° C	78.7	GHI	94.3	ABCD	91.8	ABCDE
	43° C	61.3	J	82.2	EFGH	73.9	HIJ
27%	39° C	89.8	BCDEF	94.8	ABCD	88.2	CDEFG
	41° C	78.7	FGH	96.2	ABC	92.5	ABCDE
	43° C	63.7	IJ	95.2	ABCD	91.5	ABCDE

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.
(Tukey; $\alpha = 0.01$).

A los 60 días de almacenamiento, el rompimiento de la latencia provocó una homogenización en los valores de germinación al primer conteo, los valores observados aumentaron hasta en un 49 por ciento (Cuadro 4.7.) resultando altamente significativo este aumento. Y si bien la tendencia es un aumento en los valores de primer conteo, a medida que el contenido de humedad inicial se redujo, estadísticamente todos los valores son iguales, y

permanecieron así al final de la prueba. En este momento, los valores oscilaron desde 73.9 hasta 97.6 por ciento.

El primer conteo de germinación, nos indica la reducción en el vigor por retraso en la germinación (Nutile, 1964), el retraso inicial observado, es atribuido exclusivamente a la presencia de semillas latentes durante el ensayo, lo anterior, además del hecho de haber obtenido valores altos de germinación al primer conteo, al final de la prueba, indican que el secado no afectó la calidad fisiológica de la semilla, expresada como capacidad de germinación al primer conteo, durante el tiempo en que esta permaneció bajo estudio.

Germinación después de Envejecimiento Acelerado.

Los cuadrados medios de las variables evaluadas para el ensayo de vigor mediante envejecimiento acelerado (Cuadro A.8.) muestran diferencias altamente significativas para los factores contenido de humedad a cosecha, temperatura de secado, días de almacenamiento, y su interacción; asimismo para la variable semillas latentes, los factores días a almacenamiento y altura de la capa de semillas presentaron diferencias altamente significativas.

Cuadro 4.8. Medias de plántulas normales (P.N.); anormales (P.A.), y semillas latentes (S.L.), después de envejecimiento acelerado, de semilla de sorgo.

Factores		P.N.		P.A.		S.L.	
C.H. (A)	15 %.	96.9	A	1.0	B	1.3	C
	18 %.	95.8	B	1.5	AB	2.7	B
	21 %.	93.7	C	1.4	B	4.5	A
	27 %.	94.4	C	2.0	A	2.5	B
T.S. (B)	39° C.	96.1	A	1.3	A	1.8	C
	41° C.	95.4	A	1.3	A	2.8	B
	43° C.	94.3	B	1.7	A	3.5	A
C.S. (C)	0 - 10 cm	95.1	A	1.5	A	2.8	A
	10 - 20 cm	95.4	A	1.4	A	2.6	A
	20 - 30 cm	95.3	A	1.3	A	2.6	A
D.A. (D)	0 Días.	92.3	B	2.4	A	4.5	A
	60 Días.	96.3	A	1.2	B	1.9	B
	120 Días.	96.7	A	0.9	B	1.8	B

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. (Tukey; $\alpha = 0.01$).

C.H. = Contenido de Humedad.

T.S. = Temperatura de Secado.

C.S. = Altura de la Capa de Semillas.

D.A. = Días de almacenamiento.

La comparación de medias (Cuadro 4.8.) revela un comportamiento similar a las variables fisiológicas anteriormente discutidas; la semilla fue más susceptible al deterioro a altos contenidos de humedad de cosecha, igualmente, el aumento en la temperatura de secado provocó una reducción de plántulas normales después del envejecimiento acelerado (Fig. 4.5.). Al observar el vigor de la semilla, a través del tiempo de almacenamiento se

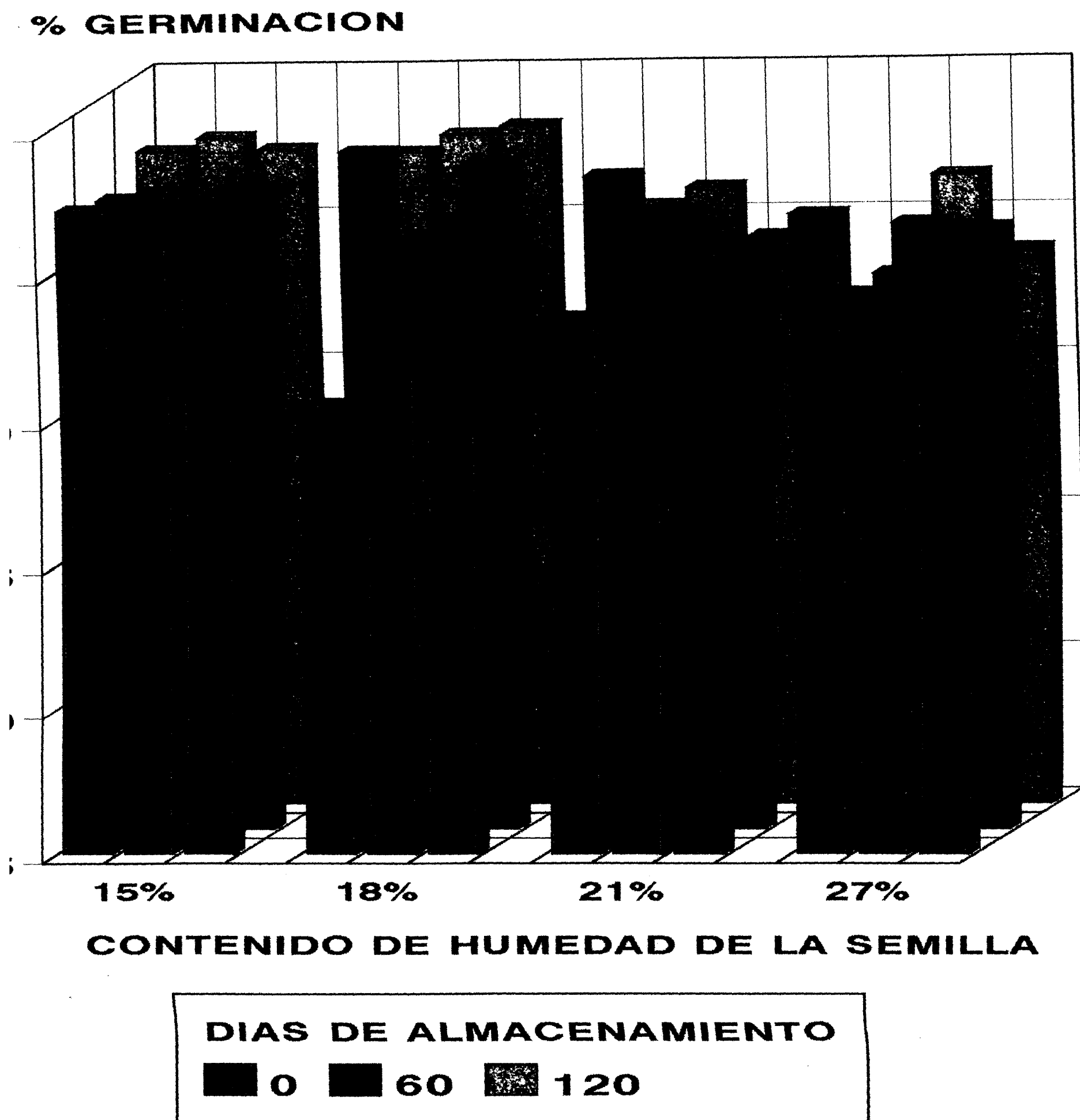


Figura 4.5. Plántulas normales en envejecimiento acelerado, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.

observa que este aparentemente mejoró a partir de los 60 días de almacenamiento, y permaneció constante a través del tiempo y hasta el final del período. No se observaron diferencias estadísticas en el vigor de la semilla, en las capas o estratos del secador, si bien existió una mayor proporción de plántulas anormales y semillas latentes a medida que la semilla estuvo más cercana a la entrada del aire caliente (Cuadro 4.8).

Respecto al porcentaje de plántulas anormales y semillas latentes, estos fueron semejantes a los observados en el ensayo de germinación; y su comportamiento fue similar ya que a mayor contenido de humedad y mayor temperatura de secado, estas variables tuvieron valores más altos.

El envejecimiento acelerado, nos indica el potencial de almacenamiento de un lote de semillas; Delouche y Baskin (1973) afirman que lotes de semilla de sorgo con buen porcentaje de germinación después del período de envejecimiento acelerado, se pueden almacenar bien, mientras que los que muestran baja germinación, tienen un menor potencial de almacenamiento, y no se

macenaron tan bien.

Los valores observados de germinación después de envejecimiento acelerado, son prácticamente iguales a los obtenidos en la prueba estandar. Al observar la interacción entre el contenido de humedad, la temperatura de secado y el tiempo de almacenamiento (Cuadro 4.9.) se observa que las medias entre contenidos de humedad y temperatura, son muy semejantes, esto sugiere que el período de envejecimiento y las condiciones de humedad relativa y temperatura, no fueron suficientes para provocar un estrés en la semilla, y si promovieron, por otro lado, la ruptura de latencia, sobre todo en la semilla con altos contenidos de humedad, esta situación se verifica a los 60 y 120 días de almacenamiento, cuando se superó la latencia.

El comportamiento de la semilla es estadísticamente igual en ambos períodos, lo que indica que las condiciones de envejecimiento, no provocaron ningún deterioro real de la semilla; por otro lado la información a los 120 días, nos indica que el secado no ejerció un efecto diferencial en el vigor de la semilla, ya que los porcentajes obtenidos al final de la prueba, nos indican que esta

Cuadro 4.9. Medias de germinación después de envejecimiento acelerado, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, de semilla de sorgo.

F.V.	Días de almacenamiento						
	0	60		120			
15%	39° C	97.2	ABC	96.7	ABCD	97.5	ABC
	41° C	97.0	ABC	96.5	ABCD	97.9	AB
	43° C	94.3	BCDEFGH	97.1	ABC	97.5	ABC
18%	39° C	90.5	FGH	98.3	A	97.4	ABC
	41° C	91.7	EFGH	95.3	ABCDEFG	98.0	AB
	43° C	89.7	GH	97.8	AB	98.3	A
21%	39° C	93.4	CDEFGH	97.4	ABC	95.5	ABC
	41° C	88.2	H	96.2	ABCDE	96.1	ABCDE
	43° C	78.5	I	94.4	ABCDEFG	94.4	ABCDEFG
27%	39° C	96.9	ABC	93.3	CDEFGH	93.1	CDEFGH
	41° C	91.6	EFGH	95.7	ABCDEF	96.5	ABCDE
	43° C	91.8	DEFGH	95.5	ABCDEF	93.9	BCDEFGH

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.
(Tukey; $\alpha = 0.01$).

conservó el vigor alto.

Lo anterior concuerda con los resultados de Nutile y Woodstock (1964) quienes encontraron que el fenómeno de latencia en semilla de sorgo, secada con aire caliente, fue menos drástico a medida que se aumentó la temperatura de germinación de la semilla de 15 a 20 y 25° C. Asimismo, las condiciones de envejecimiento permitieron una homogeneidad de los porcentajes de germinación, debido a una

homogenización en la absorción de humedad o imbibición de la semilla (Nutile, 1964).

Indice acumulado de Velocidad de Emergencia

Como se observa en el Cuadro A.9., se obtuvieron diferencias altamente significativas, para todos los factores en estudio, así como para las interacciones entre el contenido de humedad de la semilla, la temperatura de secado y los días de almacenamiento; las interacciones de estos factores con la altura de la capa de semillas, no mostraron significancia estadística.

El Cuadro 4.10. nos muestra las medias obtenidas para cada factor y sus respectivos niveles, ahí se observan diferencias marcadas en el vigor de la semilla en relación al contenido de humedad. Estadísticamente se detectaron diferencias en cada nivel de contenido de humedad, la tendencia observada es una disminución en el vigor de la semilla al aumentar su contenido de humedad a la cosecha. Esta reducción en el vigor esta mayormente asociada con el contenido de humedad que con la temperatura de secado (Fig. 4.6.), ya que unicamente la temperatura de 43°C fue estadísticamente diferente. Esta prueba detectó diferencias

Cuadro 4.10. Medias del índice acumulado de velocidad de emergencia (I.A.V.E.) y emergencia total (E.T.) en semilla de sorgo .

Factores		I.A.V.E.		E.T.	
C.H. (A)	15 %.	10.4	A	94.1	A
	18 %.	9.6	B	91.3	AB
	21 %.	8.1	D	82.1	C
	27 %.	8.6	C	89.6	B
T.S. (B)	39° C.	9.2	A	90.0	AB
	41° C.	9.4	A	91.7	A
	43° C.	8.8	B	87.0	B
C.S. (C)	0 - 10 cm	8.9	B	88.1	B
	10 - 20 cm	9.1	B	89.4	AB
	20 - 30 cm	9.5	A	91.3	A
D.A. (D)	0 Días.	12.9	A	98.3	A
	60 Días.	10.8	B	89.0	B
	120 Días.	3.8	C	75.6	C

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. (Tukey; $\alpha = 0.01$).

C.H. = Contenido de Humedad.

T.S. = Temperatura de Secado.

C.S. = Altura de la Capa de Semillas.

D.A. = Días de almacenamiento.

en el vigor en relación con la altura de la capa de semillas, la tendencia mostrada es un aumento en el vigor medido como índice de velocidad de emergencia, al aumentar la capa de semillas, sin embargo, únicamente el estrato superior, de 10 a 20 cm, fue estadísticamente diferente al resto. En relación a los días de almacenamiento, se observó que las medias de cada fecha son estadísticamente diferentes entre sí, es notoria la caída drástica en la

I.A.V.E.

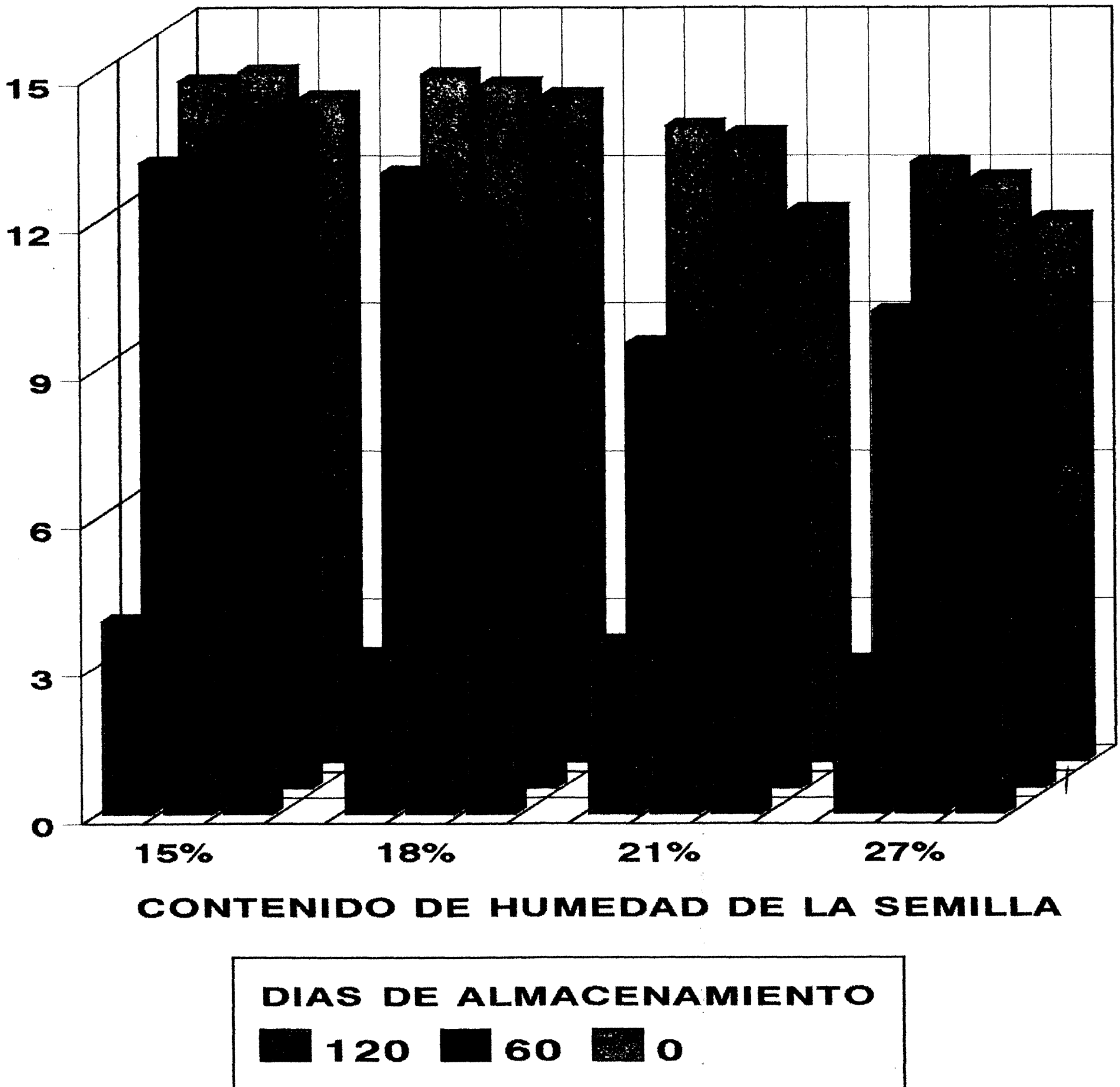


Figura 4.6. Índice acumulado de velocidad de emergencia, de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.

velocidad de emergencia, a los 120 días de almacenamiento, este efecto se acentuó, debido a las condiciones frías y de baja luminosidad que prevalecieron durante el desarrollo de la última fase de la prueba (Cuadro A.4.). Esta prueba representa con bastante confiabilidad la calidad final de la semilla, y es una de las más correlacionadas con la emergencia en campo (Acosta, 1992).

El Cuadro 4.11. muestra los valores medios del índice acumulado de velocidad de emergencia de la interacción entre el contenido de humedad a cosecha, temperatura de secado y días de almacenamiento. Se observa que después de la operación de secado, el vigor de la semilla solo varió para el contenido de humedad de 27 por ciento, y que en general, en todos los niveles de contenidos de humedad, no se observaron diferencias debidas a la temperatura de secado, en esta etapa, el contenido de humedad es el factor involucrado en las reducciones del vigor; sin embargo, a partir de los 60 días de almacenamiento empieza una caída en el vigor de la semilla, siendo esta más acentuada a contenidos de humedad de 21 y 27 por ciento. Al final de la prueba, se tienen reducciones fuertes en el vigor de la semilla, fenómeno que

Cuadro 4.11. Medias del índice acumulado de velocidad de emergencia (I.A.V.E.) de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, de semilla de sorgo.

F.V.	Días de almacenamiento			
	0	60	120	
15%	39° C	13.84 A	12.70 ABCD	3.92 KL
	41° C	14.03 A	13.25 ABC	3.94 KL
	43° C	13.51 AB	13.72 AB	4.71 KL
18%	39° C	13.98 A	12.50 ABCDE	3.24 LM
	41° C	13.78 AB	11.67 CDEFG	3.64 KL
	43° C	13.56 AB	10.26 GHI	3.64 KL
21%	39° C	12.94 ABC	9.05 IJ	3.52 KL
	41° C	12.78 ABCD	9.17 IJ	3.75 KL
	43° C	11.21 DEFGH	8.46 J	1.90 M
27%	39° C	12.18 BCDE	9.67 HIJ	3.11 LM
	41° C	11.89 CDEF	10.40 FGHI	4.97 K
	43° C	11.05 EFGH	9.09 IJ	4.67 KL

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.
(Tukey; $\alpha = 0.01$).

se acentuó por las condiciones adversas ya mencionadas; situación que concuerda con lo anotado por Nutile (1967), en relación a un retraso en la germinación de la semilla de sorgo, al encontrarse condiciones frías del suelo. Sin embargo, la mayoría de las medias son estadísticamente iguales, esto significa que los bajos índices obtenidos son atribuibles al medio ambiente, y no al secado en sí.

Cuadro 4.11. Medias del índice acumulado de velocidad de emergencia (I.A.V.E.) de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B) y Días de almacenamiento, de semilla de sorgo.

F.V.	Días de almacenamiento			
	0	60	120	
15%	39° C	13.84 A	12.70 ABCD	3.92 KL
	41° C	14.03 A	13.25 ABC	3.94 KL
	43° C	13.51 AB	13.72 AB	4.71 KL
18%	39° C	13.98 A	12.50 ABCDE	3.24 LM
	41° C	13.78 AB	11.67 CDEFG	3.64 KL
	43° C	13.56 AB	10.26 GHI	3.64 KL
21%	39° C	12.94 ABC	9.05 IJ	3.52 KL
	41° C	12.78 ABCD	9.17 IJ	3.75 KL
	43° C	11.21 DEFGH	8.46 J	1.90 M
27%	39° C	12.18 BCDE	9.67 HIJ	3.11 LM
	41° C	11.89 CDEF	10.40 FGHI	4.97 K
	43° C	11.05 EFGH	9.09 IJ	4.67 KL

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.
(Tukey; $\alpha = 0.01$).

se acentuó por las condiciones adversas ya mencionadas; situación que concuerda con lo anotado por Nutile (1967), en relación a un retraso en la germinación de la semilla de sorgo, al encontrarse condiciones frías del suelo. Sin embargo, la mayoría de las medias son estadísticamente iguales, esto significa que los bajos índices obtenidos son atribuibles al medio ambiente, y no al secado en sí.

Emergencia Total

El Cuadro A.9. muestra la significancia de los cuadrados medios obtenidos en los diferentes factores, para todos ellos se detectó significancia estadística así como para las interacciones entre el contenido de humedad, temperatura de secado y días de almacenamiento. El Cuadro 4.10. muestra los valores medios del porcentaje de emergencia al final del período de almacenamiento. En términos generales los valores son aceptables. La tendencia general es un descenso en los porcentajes de emergencia total, al aumentar el contenido de humedad de la semilla. Al final de la prueba, únicamente la semilla con 15 y 18 por ciento de contenido de humedad, mostró una emergencia superior al 90 por ciento, el menor porcentaje de emergencia fue de 82 por ciento, y se obtuvo con la semilla cosechada a 21 por ciento de contenido de humedad.

La temperatura de 43°C fue la única que afectó significativamente la emergencia de la semilla, donde se obtuvo una media de 87.0 por ciento, esta situación se observa en la Fig. 4.7. Igualmente en relación a la posición de las semillas con respecto al plenum o entrada del aire, la semilla más alejada de la fuente de calor

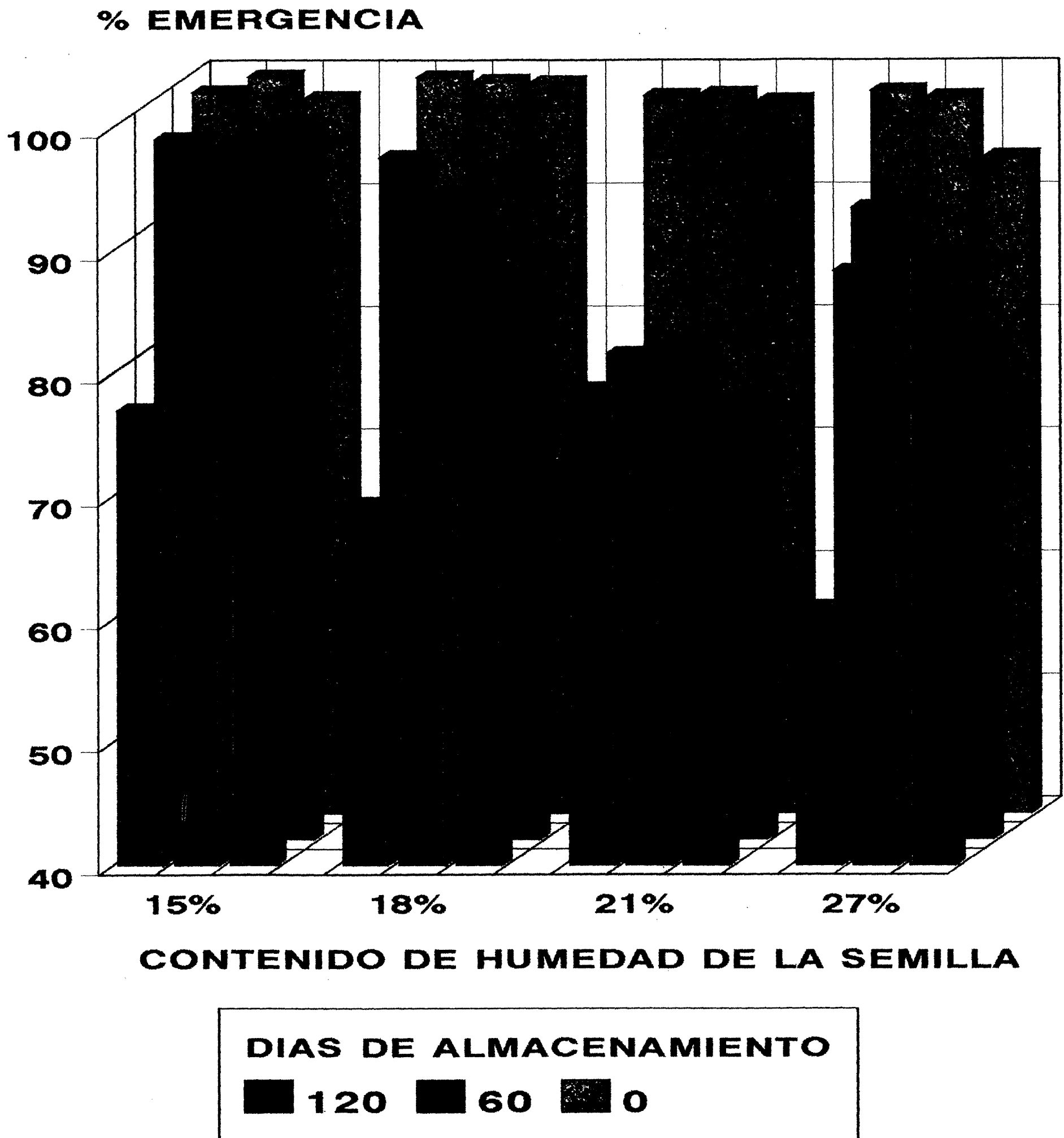


Figura 4.7. Emergencia total de la interacción del contenido de humedad a cosecha (A), temperatura de secado (B), y días de almacenamiento (D), de semilla de sorgo.

tuvo una mayor emergencia, si bien únicamente la capa en contacto directo con el aire caliente fue diferente, con un promedio de 88.1 por ciento de emergencia.

En relación a los días de almacenamiento, se observó que cada uno de los períodos evaluados resultaron estadísticamente diferentes. Inmediatamente después de la operación de secado se tiene un valor de emergencia alto, 98.3 por ciento. A los 60 y 120 días hay un descenso importante en la emergencia total, ya que al final de la prueba esta fue de 75.6 por ciento.

La interacción entre el contenido de humedad a cosecha, la temperatura de secado y los días de almacenamiento, (Cuadro 4.12.) muestran que al finalizar la operación de secado, los porcentajes de emergencia fueron altos. Para la semilla cosechada con 15 y 18 por ciento de contenido de humedad estos fueron cercanos al 100 por ciento. La tendencia observada, es un descenso en el porcentaje de emergencia, al aumentar el contenido de humedad inicial de la semilla, si bien, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales. A los 60 días de almacenamiento, hay un descenso general en los valores

de cada nivel de contenido de humedad, son estadísticamente iguales. Al final de la prueba, se tienen bajos porcentajes de emergencia, los contenidos de humedad de 15, 18 y 21 por ciento, son estadísticamente iguales, tendencia que es observada en toda las pruebas anteriores, esto implica, que el descenso observado se vio afectado más por las condiciones ambientales prevalecientes, que por la operación de secado en sí.

Análisis de correlación.

Al realizar el análisis de correlación entre los diferentes factores y variables de calidad en estudio (Cuadro 4.13.), se observó que los factores evaluados, tuvieron poca correlación con las variables de calidad física, encontrándose únicamente una relación altamente significativa entre el contenido de humedad de la semilla y el peso hectolítrico (0.695); y entre la temperatura de secado y el peso de mil semillas (-0.380). Respecto a las variables de calidad fisiológica, a excepción de la altura de la capa de semillas, que no presentó correlación significativa en ninguno de los casos, el resto de los factores presentaron correlaciones altamente significativas con las demás variables de calidad fisiológica evaluadas;

Cuadro 4.13 Matriz de correlaciones de 7 variables de calidad y 4 factores de estudio, de semilla de sorgo cosechada a diferentes contenidos de humedad y secada a tres temperaturas.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0.695**	0.136	-0.349**	-0.284**	-0.296**	-0.188**	-0.187**
	1	0	0	-0.013	-0.380**	-0.254**	-0.218**	-0.188**	-0.040	-0.137
		1	0	0.039	-0.004	0.012	0.021	0.025	0.052	0.095
			1	-----	-----	0.499**	0.560**	0.452**	-0.892**	-0.687**
				1	-0.047	-0.448**	-0.527**	-0.457**	-0.437**	-0.172
					1	0.240*	0.311**	0.372**	-0.036	0.009
						1	0.767**	0.630**	-0.248**	-0.138*
							1	0.654**	-0.299**	-0.217**
								1	-0.271**	-0.173**
									1	0.816**
										1

1. Contenido de humedad de la semilla a cosecha.

2. Temperatura de secado.

3. Altura de la capa de semillas.

4. Dias de almacenamiento.

5. Peso Hectolitrico.

6. Peso de Mil semillas.

7. Germinacion Estandar.

8. Primer Conteo de germinacion.

9. Envejecimiento Acelerado.

10. Velocidad de Emergencia.

11. Emergencia Total.

* Diferencia significativa ($t < 0.05$)

** Diferencia Altamente Significativa ($t < 0.01$).

el factor más correlacionado fue días de almacenamiento, seguido por el contenido de humedad de la semilla y la temperatura de secado, la cual no presentó correlaciones significativas con los parámetros evaluados en invernadero; esto denota la baja influencia que ejerció el secado sobre los parámetros de calidad fisiológicos evaluados.

En relación a las variables de calidad física; el peso hectolítrico presentó correlaciones altamente significativas con todas las variables fisiológicas en estudio, a excepción de la emergencia total; por el contrario, el peso de mil semillas presentó menores valores de índice de correlación, y no se detectó significancia estadística en su interrelación con las variables evaluadas en invernadero. Esto significa que el peso hectolítrico, resultó ser un buen indicador de la calidad de la semilla, siendo superior en este sentido, al peso de mil semillas.

Con respecto a las variables de calidad fisiológica, la germinación estandar resultó un buen indicador de la calidad, al presentar correlaciones altamente significativas con el resto de las variables

fisiológicas y con las variables de calidad física; las correlaciones más elevadas se tuvieron con el primer conteo de germinación, y con la germinación después de envejecimiento acelerado respectivamente. En relación a la variable emergencia total; se presentaron correlaciones altamente significativas con el índice acumulado de velocidad de emergencia; envejecimiento acelerado y primer conteo de germinación; asimismo se presentó una correlación significativa con la prueba de germinación. Todos los índices de vigor utilizados, presentaron una correlación altamente significativa entre si, siendo esta mayor entre el primer conteo de germinación y germinación después de envejecimiento acelerado.

La alta correlación obtenida entre los resultados de la prueba de germinación y los diferentes índices de vigor utilizados, esta en desacuerdo con lo mencionado por Camargo y Vaughan (1973) y Nellist (1980), en relación a que la prueba de germinación no es un indicador adecuado de la calidad de la semilla, ya que no expresa adecuadamente el vigor de la misma. Sin embargo, los resultados obtenidos pueden ser explicados sobre la base de una buena calidad inicial de la semilla de sorgo, la cual no fue afectada por

la operación de secado, y considerando además, que las condiciones y el período de almacenamiento no infringieron un deterioro significativo a la semilla, de manera que los valores de germinación y de vigor obtenidos se mantuvieron en niveles aceptables para la mayoría de los tratamientos.

CONCLUSIONES

1. La calidad física de la semilla de sorgo, expresada como peso hectolítrico y peso de mil semillas, no se vio modificada por la operación de secado; las variaciones observadas son atribuidas al efecto del medio ambiente sobre las diferentes fechas de cosecha.
2. El peso hectolítrico de la semilla de sorgo, resultó ser un buen indicador de la calidad de semilla, al presentar altos coeficientes de correlación con las variables de calidad fisiológica evaluadas a excepción de emergencia total.
3. La operación de secado indujo latencia secundaria en la semilla de sorgo, a todos los contenidos de humedad y temperaturas de secado, la cual fue más acentuada con la temperatura de 43°C y a contenidos de humedad de 21 y 27 por ciento. Esta condición latente desapareció gradualmente durante el período de almacenamiento de la semilla.

4. La temperatura de secado no afectó significativamente la germinación de la semilla de sorgo, aun en el caso de la temperatura más alta. Al final del estudio los valores de germinación fueron superiores al 90 por ciento y no existió diferencia estadística entre los diferentes niveles de contenido de humedad y temperatura.
5. A contenidos de humedad menores o iguales a 21 por ciento, la temperatura de secado no ejerció, en general, un efecto significativo sobre el vigor de la semilla de sorgo, medido por el primer conteo de germinación, germinación después de envejecimiento acelerado y velocidad de emergencia.
6. Es factible, bajo las condiciones de este estudio, cosechar la semilla de sorgo, hasta con 21 por ciento de contenido de humedad, y secar utilizando una temperatura de 43°C; sin afectar la calidad fisiológica de la misma.

RESUMEN

El sorgo es el quinto cultivo en importancia entre los cereales a nivel mundial después del trigo, maíz, arroz y cebada. México se encuentra entre los principales países productores, en 1988 la superficie sembrada, fue de más de un millón de hectáreas. La zona productora de semilla de sorgo más importante en nuestro país es la región norte de Tamaulipas, donde en 1988 se destinaron 24 000 Ha para la producción de semilla.

Uno de los problemas más importantes al que se enfrentan los agricultores en esta región, es la presencia de lluvias durante el período de postmaduración. Esto ocasiona retrasos en la cosecha y pérdidas en la cantidad y calidad de semilla colectada. Durante el ciclo primavera-verano 1993, se registraron pérdidas de un 85 por ciento de la producción en campo por efecto de las lluvias registradas durante el período de cosecha.

El secado artificial es una práctica que contribuye a realizar la cosecha lo más temprano posible, al reducir el contenido de humedad de la semilla, a niveles que permiten un almacenamiento seguro de la misma; sin embargo el secado es una operación delicada, debido a la gran influencia que tiene la aplicación de altas temperaturas en la calidad fisiológica de la semilla.

En base a lo anterior se desarrollo el presente trabajo, que tuvo como objetivos:

1. Determinar el punto óptimo de cosecha de la semilla de sorgo, considerando al secado como una operación que permitirá mantener los atributos de calidad obtenidos en campo.

2. Determinar los valores óptimos en la temperatura de secado y contenido de humedad de la semilla para mantener así la máxima calidad fisiológica de la semilla de sorgo.

Para cumplir con lo anterior, durante el mes de junio de 1993, se estableció un lote experimental en el

municipio de Valle Hermoso, Tamaulipas. El trabajo consistió en cosechar manualmente semilla de sorgo del híbrido Topaz, con 15, 18, 21 y 27 por ciento de contenido de humedad; dicha semilla fue secada en un secador experimental de laboratorio, a temperaturas de 39, 41 y 43°C, utilizando un flujo de aire de 3.0 m³/min y una presión estática de 15.2 centímetros de agua. La altura de la capa de semillas fue de 0.30 m, haciéndose una estratificación para efectos de muestreo, cada 10 cm. La semilla fue posteriormente almacenada durante 120 días.

Se evaluaron variables de calidad física (Peso hectolítrico y Peso de mil semillas) y de calidad fisiológica (Germinación estandar y Vigor; esta última variable mediante las pruebas de plántulas normales al primer conteo, envejecimiento acelerado, índice acumulado de velocidad de emergencia y emergencia total en invernadero).

Los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 3 x 3 x 3 con tres repeticiones.

Los resultados indican que la calidad física de la semilla no se vio modificada por la operación de secado, las variaciones observadas en el peso hectolítrico y peso de mil semillas, son atribuibles al efecto del medio ambiente en cada una de las fechas de cosecha.

En relación a la calidad fisiológica, la temperatura de secado indujo latencia secundaria en la semilla de sorgo, dicha latencia fue más acentuada con la temperatura de 43°C y a contenidos de humedad de 21 y 27 por ciento. Sin embargo esta condición de latencia desapareció gradualmente durante el período de almacenamiento. De manera general, a partir de los 60 días, los valores de germinación y vigor fueron estadísticamente iguales. Esto significa que el secado de la semilla no afectó la calidad fisiológica de la misma, y por lo tanto, es factible, bajo las condiciones de este estudio, cosechar la semilla de sorgo hasta con 21 por ciento de contenido de humedad, utilizando una temperatura de 43°C para su secado, sin afectar la calidad fisiológica de la misma.

LITERATURA CITADA

- Abdul-Baki, A.A. 1980. Biochemical aspects of seed vigor. HortScience, Vol. 15(6):765-774. United States of America.
- Acosta R., G.F. 1992. Madurez de fruto a cosecha y tiempo de extracción en la calidad de semilla de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 103 p.
- Aguirre, R., y S.T. Peske. 1992. Manual para el Beneficio de semillas. 2 ed. CIAT. p. 25-53. Cali, Colombia.
- Allen, J.R. 1960. Application of grain drying theory to the drying of maize and rice. Journal of Agr. Engineering Research. 5(4):363-385. United States of America.
- Arthur, J.F., and T.R. Rumsey. 1991. Two-dimensional drying model for stationary bin walnut dryers. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering. 34(1):193-200. United States of America.
- Association of Official Seed Analysts. (AOSA). 1983. Seed vigor testing handbook. contribution No. 32 to the handbook on seed testing. Association of Official Seed Analysts. United States of America. 88 p.
- Baskin, C.C. 1987. Seed maturity influences quality. Proc. Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory. Vol. 29:7-12. Mississippi State University. Mississippi, United States of America.

- Bass, L.N., and P.C. Stanwood. 1978. Long-term preservation of sorghum seed as affected by seed moisture, temperature, and atmospheric environment. *Crop Sci.* Vol. 18:575-576. Colorado. United States of America.
- Besnier R., F. 1989. Semillas. *Biología y Tecnología.* Ediciones Mundi-Prensa. España. 637 p.
- Boyd, A.H. (Sin fecha). Drying soybeans for seed in the southern United States. *Mississippi Agr. and Forestry Exp. Stat. Journal* No. 3230. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 12 p.
- Boyd, A.H. 1975. Almacenamiento de grandes volúmenes de semillas. secamiento y aereación. (Trad). *Proc. Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory.* Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 11 p.
- Boyd, A.H., G.B. Welch., and C.C. Baskin. (Sin fecha). Some thoughts on seed drying. *Mississippi Cooperative Extension Service.* Mississippi, United States of America. 2 p.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1974. *Drying Cereal Grains.* The Avi Publishing Company, Inc. p. 1-7. Westport, Connecticut. United States of America.
- Cabrera., E.R. 1986. Seed drying principles. *Proc. of the short course for seedsmen.* Vol. 28:14-33. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi, United States of America.
- Camargo, C.P., and C.E. Vaughan. 1973. Effect of seed vigor on field performance and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench). *Proc. Assoc. Off. Seed Analysts.* Vol.63:135-147. Mississippi, Mississippi, United States of America.

- Bass, L.N., and P.C. Stanwood. 1978. Long-term preservation of sorghum seed as affected by seed moisture, temperature, and atmospheric environment. *Crop Sci.* Vol. 18:575-576. Colorado. United States of America.
- Besnier R., F. 1989. *Semillas. Biología y Tecnología.* Ediciones Mundi-Prensa. España. 637 p.
- Boyd, A.H. (Sin fecha). Drying soybeans for seed in the southern United States. *Mississippi Agr. and Forestry Exp. Stat. Journal* No. 3230. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 12 p.
- Boyd, A.H. 1975. Almacenamiento de grandes volúmenes de semillas. secamiento y aereación. (Trad). Proc. Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 11 p.
- Boyd, A.H., G.B. Welch., and C.C. Baskin. (Sin fecha). Some thoughts on seed drying. Mississippi Cooperative Extension Service. Mississippi, United States of America. 2 p.
- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1974. *Drying Cereal Grains.* The Avi Publishing Company, Inc. p. 1-7. Westport, Connecticut. United States of America.
- Cabrera., E.R. 1986. Seed drying principles. Proc. of the short course for seedsmen. Vol. 28:14-33. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi, United States of America.
- Camargo, C.P., and C.E. Vaughan. 1973. Effect of seed vigor on field performance and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench). Proc. Assoc. Off. Seed Analysts. Vol.63:135-147. Mississippi, Mississippi, United States of America.

- Cantliffe, D.J., and E.C. Tigchelaar. 1980. Introduction to the symposium. Seed quality: An overview of its relationships to horticulturists and physiologists. In: HortScience Vol. 15(6):764. United States of America.
- Chaves, J.M., and J.S. Boyd. 1957. Heating air by solar energy. Agr. Engineering. 38(1):28-30. United States of America.
- Chien, K.S., R.K. Matthes., and B.P. Verma. 1971. Dimensional analysis of seed-moisture movement in deep-bed drying. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering. 14(2):277-281. United States of America.
- Chirmaksorn, S., G.B. Welch., A.H. Boyd., and W.R. Fox. 1978. The effect of high temperature drying on the germination of soybean seeds. Mississippi Agr. & Forestry Exp. Stat. Paper No. 78-3005. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 16 p.
- Christensen, C.M., and H.H. Kauffman. 1969. Grain storage. The role of fungi in quality loss. University of Minnesota Press. United States of America. 153 p.
- Clark, L.E., J.W. Collier., and R. Langston. 1967. Dormancy in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. I. Relationship to seed development. Crop Sci. Vol.7:497-500. Texas. United States of America.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional. 1970. Carta de climas. Matamoros 14R-VIII y Reynosa 14R-VI. Escala 1:500 000. México.
- Copeland, L.O. 1976. Principles of Seed Science And Technology. Burgess Publishing Company. United States of America.
- Copeland, L.O., and M.B. McDonald. 1985. Principles of Seed Science and Technology. 2 ed. MacMillan Publishing Company. United States of America. 321 p.

- Dávila., S. 1981. Design of a Small Experimental Seed and Grain Dryer. Msc. Thesis. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 83 p.
- _____. 1984. Acondicionamiento de granos. ingeniería de postcosecha. UAAAN-ASPROS. 16 p. Estado de México. México.
- _____. 1986. Beneficio de Semillas. Ed. y Rev. por Silmar T. Peske y Roberto Aguirre. CIAT. Cali, Colombia, 167 p.
- Dávila., S., S.T. Peske., y R. Aguirre. 1988. Beneficio de Semillas. Documento de trabajo número 108. CIAT. Cali, Colombia.
- Delouche, J.C. 1980a. Environmental effects on seed development and seed quality. Hortscience. 15(6):775-780. United States of America.
- _____. 1980b. Some thoughts on seed storage. Proc. Short Course for Seedsmen. Vol. 22:91-103. Mississippi State University. Mississippi, United States of America.
- _____. 1985. Quality control. Proc. Short Course for Seedsmen. Vol. 27:83-94. Mississippi State University. Mississippi, United States of America.
- _____. 1986. Physiological seed quality. Proc. Short Course for Seedsmen. Vol. 28:51-59. Mississippi State University. Mississippi, United States of America.
- Delouche, J.C. and C.C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Sci & Tech. Vol. 1:427-452. The Netherlands.
- Dickson, M.H. 1980. Genetic aspect of seed quality. Hortscience. 15(6):771-774. United States of America.

- Dodggett, H. 1970. Sorghum, Longsmans Green & Co. LTD. Great Britain. 403 p.
- Douglas, J.E. 1982. Programa de semillas. Guía de planeación y manejo. CIAT. Cali, Colombia. 357 p.
- Flores., M.J. 1989. Efecto de los factores climáticos sobre la calidad de la semilla de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) después de madurez fisiológica. Tesis de Maestria. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. México. 129 p.
- Foster, G.H. 1973. Heated-air grain drying. In: Grain storage: Part of a system. R.N. Sinha and W.E. Muir (Edit). The AVI Publishing Company, Inc. p. 189-208. Connecticut. United States of America.
- Garay., A.E., R. Aguirre., y G. Giraldo. (Sin fecha). La dinámica de la humedad de la semilla y sus implicaciones en la producción de semillas. CIAT. Documento de trabajo número 110. Cali, Colombia. 23 p.
- Giraldo, G., R. Aguirre., y A.E. Garay. (Sin fecha). El efecto de las cosechas prematuras, oportunas, y tardías en la cantidad y la calidad de las semillas de (*Phaseolus vulgaris* L.). CIAT. Documento de trabajo número 101. Cali, Colombia. 46 p.
- Gowda, S.J. and K, Ramakrishnappa. 1988. Drying parameters for sorghum under thin layer drying. Seed Research. 16(1):26-29. Bangalore, India.
- Gustafson, R.J., and R.V. Morey. 1979. Study of factors affecting quality changes during high-temperature drying. Transactions Amer. Asoc. Agr. Engineering. Vol.22(4):926-932. Minnesota, United States of America.
- Hall, C.W. 1980. Drying and storage of agricultural crops. The Avi Publishing Company, Inc. Connecticut, United States of America. 477 p.

- Harrington, J.F. 1959. Drying, storing, and packaging seeds to maintain germination and vigor. Proc. Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. p. 89-107.
- Helmer, J.D. Seed deterioration. 1980. Proc. Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory. Vol.22:105-112. Mississippi State University. Mississippi, United States of America.
- Hess M., L., y I. Rodríguez V. 1988. Manual de producción y manejo de semillas. SARH. p. 1-5. Tamaulipas, México.
- Hummeida, M.A., and A.E.E. Ahmed. 1989. Resistance of sorghum, peanut and sesame to air flow. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 20(2):53-56. Sudan.
- Ibar A., L. 1984. Sorgo. Cultivo y aprovechamiento. Biblioteca Agrícola AEDOS. Editorial AEDOS. México. 166 p.
- International Seed Testing Association. 1985. International Rules for Seed Testing. Seed Sci. & Tech. Vol. 13(2):300-520. The Netherlands.
- Justice, O.L., and L.N. Bass. 1978. Principles and practice of seed storage. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 506. United States of America. 289 p.
- Kreyger, J. 1973. Drying of seeds. Seed Sci. & Tech. Vol. 1:647-670. The Netherlands.
- Litchfield, J.B., and M.R. Okos. 1987. Prediction of corn kernel stress and breakage induced by drying, tempering, and cooling. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering.31(2): 585-594. United States of America.

- Matthes, R.K., and K.W. Rushing. 1972. Seed drying and conditioning. Proc. Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 37 p.
- Mathiasson, K., and A. Wignell. 1977. Seed transport and handling in processing systems. Seed Sci. & Tech. 5:271-285. The Netherlands.
- McDonald, M.B., Jr. 1980. Assessment of seed quality. HotScience, Vol. 15(6):784-788. United States of America.
- McLean, K.A. 1980. Drying and Storing Combinable Crops. Farming Press Limited. Great Britain. 281 p.
- Nellist, M.E. 1980. Safe drying temperatures for seed grain. In: Hebblethwaite, P.D. (Ed). Seed Production. p. 371-378. Butterworths. London. U.K.
- _____. 1981. Predicting the viability of seeds dried with heated air. Seed Sci. & Tech. 9:439-455. The Netherlands.
- Nellist, M.E. and M. Hughes. 1973. Physical and biological processes in the drying of seed. Seed Sci. & Tech. Vol.1:613-643. The Netherlands.
- Nutile, G.E. 1964. Effect of desiccation on viability of seeds. Crop Science. 4:325-328. United States of America.
- Nutile, G.E., and L.W. Woodstock. 1967. The influence of dormancy inducing desiccations treatments on the respiration and germination of sorghum. Physiologia Plantarum. 20:554-561. United States of America.
- Oke, B.O., J.P. Mittal., and R.N. Kaul. 1985. Selected engineering properties of grains of two sorghum varieties. Intern. J. Tropical Agr. III (2): 105-113. Zaria, Nigeria.

- Paul, C.L. 1990. *Agronomía del Sorgo*. ICRISAT. India. 301 p.
- Peplinski, A.J. O.L. Brekke., and E.L. Griffin. 1975. Corn quality as influenced by harvest and drying conditions. *Cereal Foods World*. 20(3):145-149. United States of America.
- Peske, S.T., y R. Aguirre. 1987. *Manual para operadores de Unidades de Beneficio de Semillas (UBS)*. CIAT. Unidad de Semillas. Cali, Colombia. 117 p.
- Popiginis., F. 1985. *Fisiología de semente*. 2 ed. Brasília. Brasil. p. 274-275.
- Presidencia de la República. (P.R.). 1992. Carlos Salinas de Gortari. IV informe de gobierno. Anexo. Poder Ejecutivo Federal. México. D.F. p. 277-230.
- Price, M.L., A.M. Stromberg., and L.G. Butler. 1979. Tannin content as a function of grain maturity and drying conditions in several varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *J. Agric. Food Chem.* 27(6):1270-1274. Indiana. United States of America.
- Rave, S.G. and L.R. Kanawade. 1982. Critical temperature for drying sorghum earheads. *J. Maharashtra Agr. Univ.* 7(2):134-135. India.
- Roberts, E.H. 1981. *Physiology of ageing and its application to drying and storage*. *Seed Sci. & Tech.* 9:359-372. The Netherlands.
- Rodríguez del A., J.M. 1991. *Métodos de Investigación Pecuaria*. Editorial Trillas-UAAAN. p. 13-14. México.
- Ross, E.E. 1980. Physiological, biochemical, and genetic changes in seed quality during storage. *HortScience*, Vol. 15(6):781-784. United States of America.
- Sinha, R.M., and W.C. Muir. 1973. *Grain Storage: Part of a System*. The Avi Publishing Company Inc. Connecticut, United States Of America.

- Singh, A.R. and A. Latchanna. 1985. Effect of dates of harvesting, drying methods and storage on seed quality of sorghum parental lines. Seed Research. Vol.13(1):180-185. India.
- Sokhansanj, S., and D.M. Bruce. 1987. A conduction model to predict grain temperatures in grain drying simulation. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering 30(4):1181-1184. United States of America.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 1993. Estadísticas anuales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Matamoros, Tamaulipas. México.
- Sorenson. J.W. Jr. 1958. Drying and conditioning seeds. Proc. Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 12 p.
- Stroshine, R.L., and X. Yang. 1990. Effects of hybrid and grain damage on estimated dry matter loss for high-moisture shelled corn. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering. 33(4):1291-1298. United States of America.
- Thomson, J.R. 1979. An Introduction to Seed Technology. Leonard Hill Edit. Great Britain.
- Thompson, T.L. 1972. Temporary storage of high moisture shelled corn using continous aireation. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering.15(2):333-337. United States of America.
- Thompson, T.L., R.M. Peart., and G.H. Foster. 1968. Mathematical simulation of corn drying. A new model. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering.11(4):582-586. United States of America.
- Tocagni., H. (Comp.). 1982. El Sorgo. Editorial Albatros. Argentina. 123 p.

- Vanderlip, R.L. 1979. How a sorghum plant develops: Cooperative Extension Service. Kansas State University. Contribution No. 1203, Kansas Agr. Exp. Station. Kansas, United States of America.
- Verma, L.R., R.A. Bucklin., J.B. Endan., and F.T. Wratten. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering. Vol. 28(1):296-301 United States of America.
- Walton, L.R., G.M. White., and I.J. Ross. 1988. A cellular diffusion-based drying model for corn. Transactions of the American Soc. Agr. Engineering. 31(1):279-283. United States of America.
- Welch, G.B. 1967. Articles on seed drying. Seedsmen's Digest. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi, United States of America. 15 p.
- Westerman, P.W., G.M. White., and I.J. Ross. 1973. Relative humidity effect on the high-temperature drying of shelled corn. Transactions Amer. Soc. Agr. Engineering. 16(6):1136-1139. United States of America.
- Williams A., H., H. Torres M., y P. Barza S., 1988. Producción de semilla de sorgo. En: Manual de Producción y Manejo de Semillas. SARH. p. 22-46. Tamaulipas, México.

A P E N D I C E

Cuadro A.1. Condiciones ambientales (Temperatura (T) y humedad relativa (HR) media diaria), durante la operación de secado de semilla de sorgo, en Matamoros, Tamaulipas.

Días	MES DE JUNIO					
	11	12	13	14	15	16
T (°C)	22.2	24.2	23.8	24.7	27.4	27.1
HR (%)	88.0	81.6	84.1	85.2	80.7	81.4

Días	MES DE JUNIO						— X
	17	18	19	20	21	22	
T (°C)	28.5	27.9	25.3	25.9	26.5	27.7	25.9
HR (%)	74.6	81.0	92.2	87.5	85.0	82.8	83.8

Cuadro A.2. Fecha de corte y contenido de humedad de la calidad inicial de semilla de sorgo [plántulas normales (P.N.), anormales (P.A.) y semillas latentes (S.L.)], de semilla de sorgo cosechada a diferentes contenidos de humedad, en Valle Hermoso, Tamaulipas.

Fecha	C.H.	P.N.	P.A.	S.L.
12 de junio	27 %	93.0	2.3	2.3
15 de junio	21 %	92.0	3.0	4.7
16 de junio	18 %	90.3	3.7	6.7
18 de junio	15 %	94.7	0.7	2.3

Cuadro A.3. Tiempo de secado (hrs) de semilla de sorgo, a diferente temperatura de secado (T.S.) y contenido de humedad (C.H.), en Matamoros, Tamaulipas.

C.H.	TEMPERATURA DE SECADO		
	39 ^o C	41 ^o C	43 ^o C
15 %	2:10	1:10	1:00
18 %	4:00	3:00	2:00
21 %	7:00	5:00	6:00
27 %	14:00	13:00	10:00

Cuadro A.4. Condiciones climáticas prevalecientes en el exterior del invernadero, durante la evaluación del índice de velocidad de emergencia y emergencia total, de semilla de sorgo, en Buenavista, Coahuila.

Fase.	Temperatura (°C)			Agua (mm)			Insolación (min)
	MAX.	MIN.	MEDIA	P. P.	TOTAL	EVAP. H. R.	
1	30.0	15.0	21.4	12.2	31.9	84.3 %	536.5
2	28.4	11.8	20.0	19.2	31.8	91.2 %	396.0
3	26.4	1.8	13.5	6.4	100.3	78.2 %	-----

Cuadro A.5. Cuadrados medios y significancia del peso hectolítrico (P.Hl.) y el peso de mil semillas (P.M.S.) de semilla de sorgo cosechada a diferentes contenidos de humedad, en Valle Hermoso, Tamaulipas.

F.V.	P.Hl.	P.M.S.
Contenido de Humedad (A)	343.583 **	1.689 **
Temperatura de Secado (B)	1.170 NS	3.174 **
A x B	10.149 **	1.906 **
Altura Capa de Semillas (C)	1.210 NS	0.480 NS
A x C	1.546 NS	0.204 NS
B x C	2.767 NS	0.260 NS
A x B x C	0.684 NS	0.261 NS
C.V.	2.0%	1.21%

N.S. = No Significancia Estadística.

** = Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

* = Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Cuadro A.6. Cuadrados medios y significancia de las variables de germinación estandar [plántulas normales (P.N.); anormales (P.A.) y semillas latentes (S.L.)]; de semilla de sorgo cosechada a diferentes contenidos de humedad, en Valle Hermoso, Tamaulipas.

F.V.	P.N.	P.A.	S.L.
Contenido de Humedad (A)	796.974**	2.263**	64.578**
Temperatura de Secado (B)	456.609**	0.597**	22.307**
A x B	82.030**	0.521**	9.856**
Altura Capa de Semilla (C)	8.266NS	0.504**	10.729**
A x C	12.055NS	0.228*	4.789**
B x C	1.087NS	0.265**	1.880**
A x B x C	7.915NS	0.137*	1.190**
Días de Almacenamiento (D)	2068.024**	0.001NS	0.478*
A x D	264.437**	0.105NS	0.122NS
B x D	204.162**	0.029NS	0.256NS
A x B x D	66.078**	0.031NS	0.132NS
C x D	14.028NS	0.155NS	0.023NS
A x C x D	5.172NS	0.065NS	0.078NS
B x C x D	7.630NS	0.145*	0.151NS
A x B x C x D	6.117NS	0.102NS	0.084NS
C.V.	3.47%	19.47%	19.01%

N.S. = No Significancia Estadística.

** = Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$)

* = Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Cuadro A.8. Cuadrados medios y significancia de las variables de germinación estandar después de envejecimiento acelerado [plántulas normales (P.N.); anormales (P.A.) y semillas latentes (S.L.)] de semilla de sorgo cosechada a diferentes contenidos de humedad, en Valle Hermoso, Tamaulipas.

F.V.	P.N.	P.A.	P.L.
Contenido de Humedad (A)	317.550**	6.413**	15.905**
Temperatura de Secado (B)	149.165**	1.441**	9.144**
A x B	80.278**	0.813**	4.018**
Altura Capa de Semilla (C)	4.017NS	0.369NS	5.033**
A x C	3.987NS	0.462**	2.319**
B x C	1.170NS	0.533**	0.805**
A x B x C	14.168NS	0.459**	0.397**
Días de Almacenamiento (D)	1032.850**	0.105NS	0.079NS
A x D	184.082**	0.039NS	0.491*
B x D	105.051**	0.045NS	0.053NS
A x B x D	33.067**	0.052NS	0.338*
C x D	13.274NS	0.112NS	0.097NS
A x C x D	12.481NS	0.041NS	0.277NS
B x C x D	13.079NS	0.113NS	0.251NS
A x B x C x D	9.318NS	0.088NS	0.261*
C.V.	3.82%	22.97%	19.01%

N.S. = No significancia estadística.

** = Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$)

* = Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Cuadro A.9. Cuadrados medios y significancia del índice acumulado de velocidad de emergencia (I.A.V.E.) y emergencia total (E.T.) de semilla de sorgo cosechada a diferentes contenidos de humedad, en Valle Hermoso, Tamaulipas.

F.V.	I.A.V.E.	E.T.
Contenido de Humedad (A)	93.755 **	13281.963 **
Temperatura de Secado (B)	17.842 **	1706.645 **
A x B	5.779 **	491.670 **
Altura Capa de Semilla (C)	7.470 **	541.714 **
A x C	2.088 NS	199.539 **
B x C	1.223 NS	427.004 **
A x B x C	1.677 NS	304.575 **
Días de Almacenamiento (D)	2378.969 **	259.330 **
A x D	22.900 **	106.871 NS
B x D	4.912 *	75.918 NS
A x B x D	3.824 **	31.522 NS
C x D	2.030 NS	25.973 NS
A x C x D	1.753 NS	64.384 NS
B x C x D	1.804 NS	28.061 NS
A x B x C x D	1.218 NS	43.978 NS
C.V.	13.23%	9.37%

N.S. = No significancia estadística.

* *. = Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$)

*. = Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).