

EFFECTO DE LA HUMEDAD
EN EL ALMACENAMIENTO HERMETICO
DE SEMILLAS DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris)

Roberto Aguirre

CIAT - UNIDAD DE SEMILLAS
NOVIEMBRE 1988

INDICE

	Pag.
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	2
II. METODOLOGIA	14
A. Metodología General	14
B. Procedimientos de Evaluación	17
1. Calidad Física	17
2. Calidad Fisiológica	18
3. Calidad Sanitaria	19
III. RESULTADOS Y DISCUSION	21
A. Evaluación de la Calidad de la Semilla	21
B. Estimación de la Calidad Fisiológica	25
C. Estimación del Contenido de Humedad en Equilibrio	29
IV. CONCLUSIONES	33
V. BIBLIOGRAFIA	35
FIGURAS	41

EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL ALMACENAMIENTO HERMETICO

DE SEMILLAS DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris)⁽¹⁾

Roberto Aguirre⁽²⁾

RESUMEN

Se almacenaron semillas de frijol (Phaseolus vulgaris) variedad Calima durante 32 semanas en empaques herméticos, a 30°C con 7 niveles de humedad comprendidos entre 10.3 y 14.2% (base húmeda). La calidad física, fisiológica, y sanitaria de la semilla fué evaluada cada dos semanas mediante muestreos a lotes independientes de cada uno de los niveles de humedad. Con los datos experimentales de germinación, emergencia, y vigor se obtuvieron modelos matemáticos con coeficientes de regresión (r^2) de 0.85, 0.93, y 0.77 respectivamente. Los resultados obtenidos permiten concluir que la semilla de frijol con alta calidad inicial y con una humedad máxima del 12% (base húmeda), al ser almacenada herméticamente en un ambiente a 30°C hasta por 8 meses no sufre pérdidas significativas en su calidad fisiológica.

⁽¹⁾/ Trabajo presentado como seminario en CIAT. Nov/88.

⁽²⁾/ Investigador asociado. Unidad de Semillas.

I. INTRODUCCION

El frijol (Phaseolus vulgaris) es un cultivo de subsistencia de gran importancia socio-económica, especialmente en los países de América Latina y Africa, donde en 1986 se produjeron más de 6.2 millones de toneladas de este grano, en 10.9 millones de hectáreas con un rendimiento promedio de 569 kg/ha (CIAT, 1988b).

En América Latina, el 77% del frijol es producido por pequeños agricultores o agricultores de subsistencia, en parcelas cuyo tamaño medio efectivo es de 3.3 ha. En este caso se considera como pequeño agricultor aquel que cultiva pequeñas extensiones de tierra con mano de obra predominantemente familiar y destina al mercado el excedente de su producción (FAO, 1987).

En la mayoría de los casos sus parcelas son de baja fertilidad, se utilizan sistemas de producción rudimentarios, no se cuenta con recursos de capital ni insumos, y se tiene poco acceso a la tecnología y a los servicios del estado. Adicionalmente, la inestabilidad de los precios de sus productos y sus limitaciones para almacenarlos y venderlos cuando los precios son mejores hacen que sus ingresos sean bajos, manteniendo a estos productores a un nivel económico de subsistencia.

Otra característica del pequeño agricultor cultivador de frijol en América Latina y Africa es la escasa utilización de variedades mejoradas y de semilla de buena calidad. En Colombia, por ejemplo,

solamente el 3% de la semilla de frijol utilizada en 1986 era semilla certificada; el 97% restante era material producido en la cosecha anterior y almacenado por el mismo agricultor o por sus vecinos. Este hecho, unido a la escasa utilización de insumos, a las sequías e inundaciones, y al ataque de plagas y enfermedades, hace que los rendimientos sean bajos comparados con los rendimientos potenciales de las variedades comerciales, los cuales pueden llegar a 2 ó 3 t/ha (CIAT, 1987).

Por lo general, el pequeño agricultor almacena su cosecha en condiciones muy precarias, sufriendo pérdidas promedios del 13 al 15% en América Latina (CIAT, 1988a), pero que pueden alcanzar hasta el 35% (Méjico y América Central). Estas altas pérdidas se deben principalmente al ataque de insectos (bruchidos ó gorgojos), entre los cuales se destacan Acanthoscelides obtectus (Say) en climas templados y Zabrotes subfasciatus (Boheman) en climas cálidos. Las condiciones óptimas para el desarrollo de estos insectos se dan a una temperatura de 30°C y a una humedad relativa (HR) del 70%, comunes en gran parte del trópico (Schwartz y Gálvez, 1980).

Existen diferentes métodos sencillos que ayudan a controlar la infestación del grano por gorgojos durante el almacenamiento. Los agricultores tradicionalmente han utilizado ceniza, pimienta, ó restos de cosecha para mezclar con las semillas. Un buen control se logra aplicando 5 ml de aceite por cada kilogramo de semilla que se va a almacenar. También es efectivo el uso de productos químicos, tales como las Piretrinas o la Fosfamida, los cuales controlan los

gorgojos y tienen muy bajo efecto residual (Schwartz y Gálvez, 1980).

Otra causa de pérdida en la calidad de la semilla es el ataque de hongos. Si la humedad de la semilla es superior al 15% base húmeda (bh), la HR del aire en la masa de semillas estará por encima del 75%; este nivel de humedad es muy favorable para el crecimiento y la reproducción de hongos. Afortunadamente éstos se controlan fácilmente bajando la HR del aire a valores inferiores al 65%, de modo que si las semillas se secan hasta una humedad en equilibrio con aire a esa HR, se puede eliminar este problema (Delouche et al., 1973; Delouche, 1980).

Quando el material que se va a utilizar como semilla proviene del grano obtenido en la cosecha anterior ésta se debe almacenar durante 2 ó 3 meses, si hay dos campañas por año, ó durante 8 meses en el caso de una campaña anual. Cuando el agricultor no tiene su propio material propagativo, compra grano, el cual utiliza para su próxima siembra; en cualquiera de los casos, las condiciones de almacenamiento deficientes contribuyen decisivamente a acelerar el proceso de deterioro y consecuentemente a la rápida pérdida de la calidad fisiológica del material.

La calidad fisiológica de la semilla (germinación y vigor) incide directamente en la emergencia, en el establecimiento y en el rendimiento del cultivo. Estudios llevados a cabo para determinar la incidencia de la calidad de la semilla en el rendimiento de los

cultivos han encontrado que la baja calidad de la semilla puede resultar en disminuciones hasta del 10% en la productividad del cultivo (Delouche, 1973b y 1985).

Desde hace mucho tiempo se conoce que los factores más importantes en la conservación de la calidad de la semilla son la humedad, la temperatura y la concentración de oxígeno (Roberts, 1972). Entre estos, la humedad alta es la causa principal de la pérdida de viabilidad de la semilla. Los factores ambientales que inciden directamente en el contenido de humedad de la semilla son la temperatura y la HR del aire en contacto con las semillas. Las semillas y el aire son materiales higroscópicos y tienden a ganar o a perder humedad dependiendo del ambiente en que se encuentren, hasta alcanzar lo que se conoce como contenido de humedad en equilibrio (CHE).

Se conocen tres reglas prácticas que ayudan a visualizar este aspecto: a) por cada punto (1%) que se reduzca la humedad de las semillas, se duplica su potencial de almacenamiento; b) por cada 5°C que se disminuya la temperatura de las semillas, se duplica su potencial de almacenamiento; c) si la suma de la temperatura (en °F) y de la humedad de la semilla (bh) es menor que 100, las condiciones de almacenamiento son adecuadas (Harrington, 1959 y 1973b).

Otro factor que determina el potencial de almacenamiento de las semillas es su "edad fisiológica" (más que su "edad cronológica");

la edad fisiológica depende del ambiente en el que se ha formado la semilla y del trato y manejo a los que ha sido sometida después de alcanzar la madurez fisiológica. Incluso en un lote de semillas genéticamente uniforme, cada semilla tendrá diferente edad fisiológica, es decir diferente nivel de deterioro y por consiguiente diferente potencial de almacenamiento. Semillas maduradas, cosechadas, y beneficiadas en diferentes circunstancias estarán sujetas a diferentes niveles de deterioro y tendrán diferente calidad (Roberts, 1972 y 1981). La época en que se cosecha, la madurez de la semilla al momento de la cosecha, y el daño mecánico afectan el potencial de almacenamiento de las semillas, independientemente de las condiciones en que se almacenen. El deterioro que generan las anteriores condiciones puede continuar aunque las semillas se almacenen en condiciones mas favorables (Bass, 1973).

Unas buenas condiciones de almacenamiento no pueden compensar o corregir el deterioro causado por una cosecha tardía e inapropiada, el daño mecánico, y el secamiento inadecuado. Las principales causas de problemas durante el almacenamiento se deben a la utilización de semillas de baja calidad; semillas con un alto contenido de humedad; periodos de almacenamiento muy largos; y almacenes húmedos, calientes, y poco ventilados (Delouche, 1973a y 1973b)

Se conoce que las semillas con un bajo contenido de humedad tienen un metabolismo muy bajo y su respiración se hace imperceptible;

ésto les permite sobrevivir por largo tiempo (Villiers y Edgcumbe, 1975). Para alcanzar éstas condiciones en regiones húmedas y cálidas es necesario secar las semillas y además deshumidificar y enfriar el ambiente del almacén. La mayoría de las semillas disminuyen sustancialmente su viabilidad y su vigor cuando son almacenadas a 30°C y 75% HR en un periodo de sólo 6 meses (Delouche et al., 1973). Para almacenamiento a corto plazo, la práctica ha demostrado que es suficiente controlar sólo uno de éstos factores. Se ha estimado que es posible mantener la viabilidad de la semilla de frijol hasta por un año en almacenamiento abierto (AA) a 27°C, si las semillas tienen menos del 8% de humedad (Harty, 1977).

Estos principios son bien conocidos y han sido probados desde hace bastante tiempo, pero son difíciles de aplicar por el agricultor de subsistencia debido a las condiciones enumeradas anteriormente. Por tanto, se necesita un método práctico, sencillo, y de bajo costo que le permita al agricultor almacenar su semilla durante un periodo de tiempo corto (máximo 8 meses), desde la cosecha hasta la próxima siembra.

Un método muy común y antiguo, utilizado para el almacenamiento de granos y semillas, es el almacenamiento hermético (AH); se conocen estudios al respecto desde 1819, especialmente sobre sistemas de almacenamiento subterráneo (Sigaut, 1980).

Para poder utilizar este sistema de almacenamiento es absolutamente esencial secar adecuadamente las semillas hasta un nivel de humedad

seguro (en términos de la temperatura máxima de almacenamiento) antes de sellar herméticamente el recipiente. Si la semilla tiene un alto contenido de humedad el AH causará mas daño a las semillas que el AA (Harrington, 1959). La mayoría de las semillas requieren ser secadas antes de poder ser almacenadas herméticamente a temperaturas mayores a los 10°C. Es posible guardar semillas secas en AH durante 2 ó 3 años a temperaturas ordinarias (21- 32°C) y durante mucho más tiempo a menores temperaturas. En algunas partes del mundo, especialmente en regiones tropicales, el AH es necesario para mantener la viabilidad de las semillas (Bass, 1973).

Se ha reportado que semillas de frijol almacenadas a 27°C en ambientes con una HR del 44, 66 y 78% disminuyeron su germinación de 97% a 92, 87 y 0%, luego de 250 días. Asimismo se ha encontrado que semillas de frijol almacenadas a 30°C en AA y en AH perdieron rápidamente su calidad en ambos casos. Por otra parte, las semillas de frijol presentaron una germinación del 50% luego de estar almacenadas durante 38 años en jarras herméticas (Justice y Bass, 1978).

Actualmente el AH de semillas es utilizado ampliamente en los bancos de germoplasma para almacenar las accesiones de genotipos durante largos períodos de tiempo, con bajos contenidos de humedad (5% bh) en empaques herméticos a muy bajas temperaturas (-20°C). Estas condiciones tan especiales son necesarias cuando se va a almacenar la semilla durante períodos muy largos de tiempo (50 años). Sin embargo no se ha considerado con suficiente profundidad

el AH como alternativa para mantener la calidad de pequeñas cantidades de semillas durante periodos cortos de tiempo, lo cual puede llegar a tener un amplio rango de utilización especialmente en regiones de clima cálido y húmedo donde no es posible enfriar las semillas por aireación y donde los recursos no permiten controlar la temperatura y/o la humedad del ambiente de almacenamiento.

El AH tiene varias ventajas que pueden llegar a ser atractivas para el pequeño agricultor: Cuando la semilla se almacena con la humedad apropiada, permite el mantenimiento de la calidad de las semillas durante un tiempo superior al del AA. Debido a las características de hermeticidad del recipiente, la humedad de la semilla no se ve afectada por la HR del ambiente en el exterior del recipiente. Además, en empaques herméticos la HR dentro del recipiente fluctúa muy poco y sólo debido a los cambios de temperatura. Si la humedad de la semilla es lo suficientemente baja, el efecto de la temperatura en la calidad de la semilla se ve reducido, haciendo innecesario el acondicionamiento de la temperatura de la bodega. El recipiente puede servir no sólo como barrera de vapor, sino también como barrera contra roedores e insectos. Además, debido a la hermeticidad del recipiente y a la respiración de las semillas y los microorganismos, la composición de la atmósfera interior cambia a lo largo del almacenamiento, presentándose una disminución en la concentración de oxígeno y un incremento en la concentración de dióxido de carbono.

La información disponible indica que los hongos del almacenamiento se inactivan completamente a HR inferiores al 62%. También se sabe que las bacterias necesitan ambientes con HR del 90% o más para su crecimiento (Roberts, 1972). Por estas razones, tanto los hongos como las bacterias se pueden controlar con el AH, siempre y cuando la humedad de las semillas sea lo suficientemente baja.

Para el caso de los ácaros, se ha reportado que no pueden sobrevivir en ambientes con HR por debajo del 60% y tienden a morir con HR entre el 60 y 70%. En consecuencia, el problema de los ácaros en AH no es grave. Los insectos, por otra parte, sólo dejan de ser activos en semillas con una humedad inferior al 8%, y su actividad se incrementa con humedades del 15% (Roberts, 1972). Por tanto, para controlar insectos (especialmente gorgojos), sería necesario almacenar las semillas a humedades no mayores del 8%. Adicionalmente, se ha demostrado que algunos insectos además pueden sobrevivir en condiciones anaeróbicas presentes en AH, incluso a muy bajas concentraciones de oxígeno (Burrell, 1980). Es decir, que en condiciones de AH los gorgojos estarán activos independientemente de la HR y de las condiciones de hermeticidad del recipiente. Este hecho implica que se debe controlar que la semilla que se empaque esté libre de insectos antes del almacenamiento.

Desafortunadamente no existe mucha información sobre las condiciones de humedad y temperatura que permitan el AH de semillas de frijol a corto plazo, pues se ha dado mayor énfasis al AH a

largo plazo. Se ha recomendado que para el AH de semillas, su contenido de humedad no debe ser superior al 5% y para el caso de frijol el límite es del 9% (Harrington, 1959; Harrington y Douglas, 1970; Delouche, 1973b; Bass, 1975; Justice y Bass, 1978). Se han almacenado semillas de frijol en buenas condiciones a temperatura ambiente en recipientes herméticos durante 15 años con una humedad del 9% (Nakamura, 1975). En general se considera que el rango de humedad apropiado para el AH es del 6 al 12% de humedad (Harrington, 1973a).

Se ha reportado que semillas de arroz guardadas en AH a 32°C y 11.5% de humedad sólo redujeron su germinación de 98 a 95% luego de 21 meses, y semillas de trigo a 32°C y 13.2% de humedad disminuyeron su germinación de 96 a 95%. Semillas de estas especies en las mismas condiciones de humedad y temperatura rápidamente perdieron su viabilidad cuando se guardaron en AA, es decir en empaques permeables al vapor de agua (Freire y Mumford, 1986). Se encontró que semillas de arroz reducían su viabilidad por debajo del 80% a los 90 días de AA cuando la humedad de la semilla era del 14.5%, y a los 200 días cuando la humedad de la semilla fué de 12% (Roberts, 1961).

Se han guardado semillas de maíz en AH a 24°C y 12% de humedad (bh) hasta por 6 meses manteniendo su calidad física y fisiológica a niveles aceptables (Pimentel et al., 1987). Otros estudios encontraron que semillas de maíz, almacenadas a 27°C durante 90 días con un contenido de humedad del 15.5 y 17.6%, perdieron su

viabilidad así fueran guardadas en AH ó en AA (Moreno et al., 1988).

Para el caso de las semillas de frijol, se han hecho ensayos almacenando las semillas en recipientes plásticos herméticos hasta por 12 meses a 12.7% de humedad y 19°C; en estas condiciones la germinación disminuyó de 90 a 84%; y semilla con 10.9% de humedad almacenada a 23°C disminuyó su germinación de 95 a 82%. (Martínez, 1986).

Otro punto importante en el AH es la selección del empaque adecuado. Esta selección se debe hacer teniendo en cuenta: a) la cantidad de semillas que se van a almacenar; b) la disponibilidad y el precio del empaque; c) la facilidad del manejo y las condiciones del transporte y el almacenamiento; d) las características de hermeticidad que impidan la entrada de vapor de agua y a su vez el escape de insecticidas previamente aplicados a la semilla, y que garanticen una barrera contra plagas y protección contra daño mecánico; y e) la facilidad de abrir el recipiente logrando cada vez un sellado hermético (Harrington y Douglas, 1970; Freire y Mumford, 1986).

Los pequeños agricultores, con parcelas de 3 ha en promedio, sólo requieren almacenar aproximadamente 140 kg de semilla de frijol para una siembra. Esto representa un volumen de 0.2 m³, lo que equivale al volumen de un barril de 55 galones. También existe toda serie de empaques plásticos que pueden ser usados teniendo en

cuenta las características anotadas anteriormente, en particular la referente al método de cerramiento. Es importante que el recipiente sea llenado al máximo, disminuyendo así la cantidad de aire que queda adentro del recipiente. Una vez almacenada la semilla, el empaque debe permanecer herméticamente cerrado hasta el momento en que se va a utilizar la semilla.

El pequeño agricultor a nivel individual o un grupo de agricultores pueden aplicar el método de AH en forma práctica si se determina el contenido de humedad "seguro" para almacenar semillas de frijol herméticamente en climas cálidos y/o húmedos durante un período hasta de 8 meses.

Conocer ése rango de seguridad es una necesidad apremiante para el pequeño agricultor que no tiene acceso a semilla certificada y que no está en condiciones de adelantar ensayos que requieren conocimientos, equipos, financiación y tiempo. Considerando la importancia de desarrollar una tecnología práctica en este sentido, se decidió realizar esta investigación en la Unidad de Semillas del CIAT en Cali, Colombia.

El objetivo de este estudio consistió en determinar el efecto de la humedad en la calidad de la semilla de frijol (Phaseolus vulgaris), variedad Calima, cuando ésta se almacena herméticamente durante 32 semanas a una temperatura de 30°C.

II. METODOLOGIA

1- Metodología general

Se almacenaron semillas certificadas de frijol (Phaseolus vulgaris), variedad Calima, obtenida de un productor de semillas del Valle del Cauca, con un contenido de humedad inicial del 14.2% (bh). Cada kilogramo de semilla fue tratado con 6 ppm de clorpirifos-metil al 43.2% (Reldan 4E) y 0.5 gr. de fosforo de aluminio al 57% (Detia-gas).

Se almacenaron semillas con siete contenidos de humedad diferentes, comprendidos entre 14.2% (humedad inicial de la semilla) y 10.3%. Las semillas se almacenaron durante 32 semanas y se tomaron muestras cada 2 semanas; por lo cual se utilizaron 17 muestras (incluyendo la muestra inicial) de cada uno de los 7 niveles de humedad, para un total de 119 muestras.

Las 17 muestras correspondientes al mayor contenido de humedad (14.2%) fueron obtenidas de la semilla recibida una vez esta fue fumigada y homogeneizada. Las semillas restantes fueron colocadas en un secador estacionario de capa delgada (10 cm) en contacto con aire a 30°C. La humedad de las semillas se determinó a intervalos frecuentes; cuando se alcanzaba el nivel de humedad deseado, se procedía a homogeneizar la semilla y a obtener las 17 muestras correspondientes a ese nivel. La semilla restante continuaba en el

secador hasta alcanzar el siguiente nivel de humedad, y el procedimiento se repitió hasta obtener muestras de los 7 niveles de humedad.

Se evaluó la calidad de cada una de las muestras iniciales mediante determinación de humedad (ISTA, 1985), germinación (ISTA, 1985), vigor (AOSA, 1983), y presencia de virus (Prueba ELISA), bacterias (Método Taylor) y hongos (Método Blotter). Los datos obtenidos de esta evaluación inicial son los siguientes:

Código lote	86	69	103	35	52	18	1
Humedad (%bh)	10.2	10.9	11.4	12.2	12.8	13.0	14.3
Germinación (%)	96	98	98	94	96	94	96
Vigor (%)	89	89	88	88	88	90	88
<u>Aspergillus</u> spp.(%)	0	0	17	12	0	20	50
<u>Penicillium</u> spp.(%)	0	0	0	0	0	0	0
<u>Rhizopus</u> spp. (%)	0	0	0	0	0	0	0

Las 112 muestras restantes fueron colocadas en sendos recipientes plásticos. Se utilizaron tarros plásticos cilíndricos con paredes de 0.75 mm. de espesor, con un volumen interior de 1200 cm³ y un peso de 100 g. Las dimensiones aproximadas de los recipientes son 20 cm. de altura y 10 cm. de diámetro. Tan pronto como la semilla era colocada en los recipientes, se tapaban con tapa a presión y contratapa roscada, ambas del mismo material plástico. Con el fin

de asegurar la hermeticidad de los tarros, éstos fueron sellados adicionalmente con cinta plástica.

Luego que los recipientes fueron sellados, se pesó cada uno de ellos y todos fueron colocados en una cámara de almacenamiento, la cual se mantuvo a una temperatura de 30°C durante los 8 meses que duró el ensayo. Los recipientes, completamente llenos con semilla, cerrados, y sellados, pesaron aproximadamente 950 g. cada uno.

Cada 2 semanas se retiraba de la cámara de almacenamiento una muestra de cada uno de los niveles de humedad, para un total de 7 muestras. Luego que eran removidos de la cámara, se examinaba el sellado de los recipientes, se pesaba y se determinaba si había habido algún cambio. Posteriormente se abría el tarro, se introducía un sensor, y se cerraba rápidamente. Este sensor indicaba la temperatura y la HR del aire ambiente interior en contacto con las semillas, con el fin de posteriormente relacionarlos con el contenido de humedad de la semilla en equilibrio en esas condiciones. Tan pronto se estabilizaba la lectura del sensor, se procedía a abrir nuevamente el recipiente, homogeneizar la semilla, y tomar una muestra para determinar su contenido de humedad.

La semilla restante era examinada con el fin de detectar daños en su apariencia. Luego era colocada en un cuarto a 17°C y 50% HR donde permanecía durante dos días. Este tiempo permitía que las diferentes muestras, con diferentes contenidos de humedad, alcanzaran una humedad uniforme antes de proceder a tomar las

muestras para las pruebas de germinación, vigor, y calidad sanitaria. Las semillas restantes permanecían en este cuarto hasta el final del ensayo. En ese momento, se retiraron todas las muestras y se hizo la prueba de emergencia en el campo.

B. Procedimientos de Evaluación

1. Calidad física. Se realizaron una serie de mediciones con el fin de evaluar algunas características físicas de la semilla y del ambiente de almacenamiento.

a. Pérdida de peso: El recipiente, lleno de semillas, cerrado y sellado se pesó al inicio y al final del almacenamiento para determinar cambios de peso durante ese periodo. Se utilizó una balanza digital de 0.01 g. de resolución y 1600 g. de capacidad.

b. Humedad de la semilla: Se determinó la humedad de la semilla en tres repeticiones, moliéndola en un molino especial y secándola en la estufa durante 1 hora a 130°C, de acuerdo con los procedimientos internacionalmente establecidos (ISTA, 1985).

c. Temperatura y HR del aire: Se midió la temperatura y HR del aire dentro del recipiente al final del almacenamiento y se relacionó con el CHE de las semillas. Se utilizó un termohigrómetro marca Hygrotest modelo 6400. Con el fin de no alterar las condiciones en el interior del recipiente, se introducía rápidamente el sensor y de nuevo se sellaba la tapa hasta que la lectura del instrumento se

hubiera estabilizado. Estas mediciones no se pudieron hacer para todas las muestras pues el instrumento no estuvo disponible desde el inicio del ensayo.

d. Temperatura del cuarto de almacenamiento: La temperatura de la cámara de almacenamiento se midió permanentemente mediante un termógrafo y se controló con un termostato con el fin de garantizar que se mantuviera en el nivel deseado (30°C).

e. Apariencia: Al retirar cada recipiente de la cámara de almacenamiento, se revisaba el estado del recipiente y del sellado; una vez abierto, se revisaba si había cambios en la apariencia física de la semilla y si había infestación de plagas.

2. Calidad fisiológica. Se realizaron pruebas de campo y de laboratorio con el fin de evaluar la calidad fisiológica de las semillas. Las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Semillas del CIAT.

a. Germinación: La semilla se puso a germinar en arena; se hicieron dos repeticiones de 100 semillas cada una, con un único conteo a los siete días. En estas pruebas se utilizó arena esterilizada con 25% de humedad, de acuerdo con las normas internacionales (ISTA, 1985).

b. Vigor: Se realizó la prueba de envejecimiento acelerado colocando las semillas durante 24 horas en un ambiente saturado de humedad a 40°C (ADSA, 1983; Delouche y Baskin, 1973). Posteriormente, las semillas fueron colocadas a germinar en arena de la misma manera que en la prueba de anterior y siguiendo las mismas normas (ISTA, 1985).

c. Emergencia: Al finalizar el ensayo se sembraron en el campo simultáneamente 3 replicaciones de 100 semillas cada una de todas las muestras. La lectura de emergencia se hizo a los 15 días (Popinigis, 1974).

3. Calidad sanitaria. Se determinó la presencia de insectos, ácaros y microorganismos con el fin de evaluar su desarrollo durante el almacenamiento. Las pruebas de hongos, bacterias y virus fueron realizadas en el Laboratorio de Sanidad de Semillas de la Unidad de Recursos Genéticos del CIAT, utilizando 50 semillas de cada uno de los lotes para cada uno de los ensayos realizados.

a. Hongos: Se utilizó la prueba de Blotter (papel filtro) para determinar la presencia de Aspergillus spp., Penicillium spp., Rhizopus spp., Alternaria spp., Chaetomium spp., Curvularia spp., Colletotrichum truncatum, Macrophomina phaseolina, Fusarium oxysporum, Fusarium roseum, Fusarium solani, Isariopsis griseola y Rizoctonia solani.

b. Bacterias: Se determinó la presencia de Xanthomonas phaseoli y Pseudomonas phaseolicola, mediante el método de Taylor (plateo en agar).

c. Virus: Se utilizó la prueba ELISA para detectar la presencia de virus del mosaico sureño (BSMV) y del virus del mosaico suave (BMV).

d. Insectos y ácaros: Se inspeccionó visualmente cada lote de semillas antes y después del almacenamiento con el fin de detectar infestaciones.

III- RESULTADOS Y DISCUSION

A. Evaluación de la calidad de la semilla

En la Tabla 1 se han resumido los resultados obtenidos luego de evaluar la calidad física, fisiológica, y sanitaria de los diferentes lotes de semillas sometidos a la prueba de AH. Aunque las evaluaciones fueron hechas cada 2 semanas durante 8 meses, sólo se presentan resultados mensuales con el fin de resumir la información y simplificar la interpretación.

En la primera y en la última columnas se indica el número de cada uno de los recipientes o lotes de semillas, el cual facilita la identificación de los mismos. La segunda columna presenta la duración del periodo de almacenamiento de cada una de las muestras. La tercera y cuarta columnas muestran, respectivamente, el peso inicial y final de cada lote, el cual incluye la masa de las semillas (800 g. aprox.) y el peso del recipiente. Se observó una pequeña disminución de peso a lo largo del periodo de almacenamiento, la cual sin embargo fué mínima y en ningún caso el coeficiente de variación llegó a ser mayor al 0.12% (lo que equivale a un cambio de 1.1 g.). Esto permite concluir que el almacenamiento se llevó a cabo bajo condiciones adecuadas de hermeticidad.

La quinta columna muestra el contenido de humedad promedio (% bh) de las semillas de cada uno de los 7 niveles de humedad. Este valor se obtuvo a partir del promedio aritmético de las humedades finales

TABLA 1 - EVALUACION DEL EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL ALMACENAMIENTO HERMETICO DE SEMILLAS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*)

CL	S	Pi	Pf	Hi	Hf	Gp	Ep	Vp	HR	--- HONGOS ---			CL
										Asp	Pen	Rhi	
86	0	935.10	935.10	10.26	10.20	96	90	89	--	-	-	-	86
88	4	929.37	929.36	10.26	10.20	95	86	87	--	26	-	-	88
90	8	948.14	948.12	10.26	10.29	95	86	87	--	41	-	-	90
92	12	941.35	941.27	10.26	10.25	96	86	86	--	35	-	-	92
94	16	935.94	935.93	10.26	10.40	96	85	--	49.1	33	-	-	94
96	20	947.03	947.01	10.26	10.51	92	85	86	47.7	90	18	6	96
98	24	933.01	932.90	10.26	10.22	92	86	81	48.7	66	12	4	98
100	28	924.88	923.74	10.26	10.32	93	85	72	47.2	48	-	4	100
102	32	929.42	929.31	10.26	10.53	92	86	65	48.2	66	4	-	102
69	0	940.97	940.97	11.00	10.95	98	89	89	--	-	-	-	69
71	4	944.13	944.11	11.00	10.97	95	86	88	--	26	2	1	71
73	8	951.87	951.88	11.00	11.14	95	87	85	--	47	-	1	73
75	12	940.36	940.29	11.00	10.76	93	87	85	--	30	-	3	75
77	16	949.66	949.56	11.00	11.02	93	85	--	52.1	30	-	1	77
79	20	946.00	945.90	11.00	11.27	93	85	84	52.4	82	26	12	79
81	24	950.36	950.20	11.00	11.01	92	86	78	52.8	79	-	6	81
83	28	951.10	950.75	11.00	10.98	92	82	58	52.1	66	2	4	83
85	32	946.54	946.33	11.00	10.98	90	79	40	52.2	58	6	8	85
103	0	944.44	944.44	11.42	11.40	98	88	88	--	17	-	-	103
105	4	950.15	949.57	11.42	11.30	95	87	87	--	28	-	-	105
107	8	939.73	939.69	11.42	11.41	94	86	84	--	45	-	-	107
109	12	944.52	944.41	11.42	10.93	94	84	83	--	36	-	3	109
111	16	937.36	937.32	11.42	11.49	93	83	--	--	34	-	1	111
113	20	972.35	972.20	11.42	11.44	91	83	80	54.2	88	26	2	113
115	24	946.52	946.30	11.42	11.25	90	82	75	54.1	76	8	2	115
117	28	953.35	953.05	11.42	11.32	91	80	47	53.4	68	-	6	117
119	32	952.91	952.65	11.42	11.42	88	75	25	53.8	38	4	-	119
35	0	914.28	914.28	12.18	12.18	94	88	88	--	12	-	-	35
37	4	919.37	919.37	12.18	12.20	94	87	86	--	36	-	-	37
39	8	930.93	930.85	12.18	12.23	91	87	85	--	40	-	-	39
41	12	939.51	939.32	12.18	11.85	90	85	82	--	39	-	3	41
43	16	907.20	907.01	12.18	12.28	90	83	--	59.0	32	-	2	43
45	20	922.22	922.00	12.18	12.19	91	84	77	58.4	98	16	6	45
47	24	926.18	925.24	12.18	12.04	88	80	71	58.3	82	6	-	47
49	28	917.83	917.45	12.18	12.12	88	79	25	57.6	52	2	8	49
51	32	926.27	925.89	12.18	12.20	80	69	7	58.0	52	10	-	51
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)

TABLA 1 (Cont.) - EVALUACION DEL EFECTO DE LA HUNEDAD EN EL ALMACENAMIENTO HERMETICO DE SEMILLAS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*)

CL	S	Pi	Pf	Hi	Hf	Gp	Ep	Vp	HR	Asp	Pen	Rhi	CL
52	0	917.95	917.95	12.57	12.76	96	86	88	--	-	-	-	52
54	4	933.42	933.36	12.57	12.57	93	86	85	--	32	-	3	54
56	8	944.10	943.96	12.57	12.51	92	85	82	--	41	-	2	56
58	12	969.33	969.08	12.57	12.37	93	84	79	--	34	-	1	58
60	16	916.01	915.59	12.57	12.25	90	83	--	--	29	-	1	60
62	20	961.10	960.80	12.57	12.14	93	79	71	59.9	86	18	8	62
64	24	934.48	934.00	12.57	12.21	83	75	49	59.7	64	18	6	64
66	28	950.87	950.21	12.57	12.14	78	53	12	58.8	56	6	-	66
68	32	937.72	937.13	12.57	12.26	65	38	0	59.9	44	4	2	68
18	0	926.25	926.25	12.92	13.01	94	84	90	--	20	-	-	18
20	4	938.87	938.86	12.92	12.83	93	86	83	--	37	3	1	20
22	8	929.82	929.69	12.92	12.81	92	85	77	--	44	-	1	22
24	12	932.48	932.30	12.92	13.01	89	83	76	--	38	-	-	24
26	16	948.51	948.28	12.92	12.73	88	82	--	--	35	-	-	26
28	20	949.26	949.05	12.92	12.83	84	77	61	61.4	88	12	12	28
30	24	954.59	954.30	12.92	12.82	76	69	25	61.6	79	6	6	30
32	28	938.62	938.02	12.92	12.93	65	42	5	60.6	58	6	2	32
34	32	940.42	939.85	12.92	12.73	54	29	0	61.4	48	16	-	34
1	0	928.62	928.62	14.16	14.35	96	83	88	--	50	-	-	1
3	4	934.11	934.09	14.16	13.95	94	83	80	--	39	-	3	3
5	8	925.32	925.24	14.16	14.27	89	80	64	--	40	-	-	5
7	12	940.62	940.39	14.16	13.70	90	73	51	--	45	-	2	7
9	16	969.34	969.13	14.16	13.72	76	67	--	--	44	-	-	9
11	20	951.08	950.83	14.16	13.97	56	45	21	65.5	96	8	26	11
13	24	976.41	975.70	14.16	13.83	33	15	5	66.7	41	16	-	13
15	28	956.01	955.57	14.16	13.80	0	0	0	65.1	72	14	10	15
17	32	945.53	945.00	14.16	13.67	0	0	0	66.4	76	90	2	17
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)

CL = Código del lote
 Pi = Peso inicial (gr)
 Hi = Humedad inicial (%bh)
 Gp = Germinación promedio (%)
 Vp = Vigor promedio (%)
 Asp = *Aspergillus* spp. (%)
 Rhi = *Rhizopus* spp. (%)

S = Semanas de almacenamiento
 Pf = Peso final (gr)
 Hf = Humedad final (%bh)
 Ep = Emergencia promedio (%)
 HR = Humedad relativa (%)
 Pen = *Penicillium* spp. (%)

de cada lote de semillas. El contenido de humedad (% bh) al final del almacenamiento para cada lote se presenta en la columna 6. El valor de la humedad para la semana cero corresponde al contenido de humedad de cada lote al momento de iniciar el almacenamiento. El coeficiente de variación entre la humedad promedio de cada nivel y la humedad al final del almacenamiento es inferior al 2.0% (lo que equivale a un cambio en la humedad de menos del 0.2%); nuevamente estos datos confirman la hermeticidad de los recipientes y del sistema de sellado utilizados.

Las tres columnas siguientes (7, 8, y 9) presentan los promedios de los índices de germinación, emergencia, y vigor para cada uno de los lotes obtenidos al finalizar el periodo de almacenamiento.

La columna 10 presenta los datos referentes a la HR del aire en el interior de cada recipiente al finalizar el periodo de almacenamiento. Esta información está disponible a partir de la semana 16, debido a que sólo después de esta fecha fué posible contar con el equipo de medición.

Las tres columnas siguientes (11, 12, y 13) resumen los resultados de las pruebas para determinar la presencia de hongos en las muestras al final del almacenamiento; sólo se detectó la presencia de Aspergillus spp., Penicillium spp., y Rhizopus spp. Las semillas también fueron sometidas a pruebas para detectar virus del mosaico sureño (BSMV) y virus del mosaico suave del frijol (BMMV), obteniéndose resultados negativos. Asimismo fueron negativas las

pruebas de detección de las bacterias Xanthomonas phaseoli y Pseudomonas phaseolicola.

Se puede observar que la infestación por hongos aumenta en todos los niveles de humedad a medida que aumenta el periodo de almacenamiento, con infestaciones mayores encontradas en las muestras con los contenidos de humedad más altos. Si se observan los datos de la columna 10 (HR del aire en el interior del recipiente), se puede concluir que incluso con una HR del 50% los hongos continúan activos y reproduciéndose, especialmente las especies de Aspergillus.

B. Estimación de la Calidad Fisiológica de las Semillas

Los datos de germinación, emergencia, y vigor fueron sometidos a un análisis de regresión con el fin de encontrar un modelo matemático que se ajustara a los resultados experimentales. Las curvas de supervivencia obtenidas con los datos observados (tiempo de almacenamiento vs. germinación, emergencia, ó vigor) presentan la forma sigmoideal característica que ha sido reportada por varios investigadores (Roberts, 1961, 1972, 1981; Ellis, 1988).

Se trató, en primer lugar de encontrar los parámetros para una ecuación de viabilidad basada en la transformación probit del porcentaje de viabilidad (Roberts, 1972; Ellis y Roberts, 1980; Ellis, 1988). Este modelo se basa en el hecho de que la frecuencia de muertes en una población de semillas se puede describir por la

curva de distribución normal y por consiguiente las curvas de supervivencia son acumulaciones de la distribución normal, las cuales son linearizadas si se presentan en términos de valores probit, al existir una relación logarítmica entre longevidad y humedad de la semilla. Utilizando rutinas de regresión no lineal, fué posible determinar los parámetros para este modelo; sin embargo los datos obtenidos no muestran la simetría asumida por el modelo de Ellis y Roberts y los resultados no se ajustan con suficiente precisión, especialmente para los casos de contenidos de humedad altos. Probablemente debido a que el tiempo de almacenamiento fué muy corto y no permitió que la calidad de la semilla se deteriorara a niveles mínimos (dando la forma sigmoideal completa), unido al hecho de que las condiciones de almacenamiento fueron muy extremas en cuanto a temperatura y humedad de las semillas, lo cual implica que la frecuencia de distribución de muertes no haya sido normal y se haya presentado una asimetría que hizo que el modelo no aplicara en estas circunstancias.

Otra forma de simular las curvas de supervivencia consiste en convertir a valores logit los porcentajes de viabilidad (Houston, 1973), o a valores gompit (Berger, 1981). Para este fin se probaron varias alternativas, de las cuales la siguiente fué la que dió mejores resultados:

$$\text{Ln}\{(100-V)/V\} = a + b.S^2.\text{exp}(H) \quad (1)$$

donde V, representa germinación, emergencia, ó vigor; S, semanas de almacenamiento; H, contenido de humedad (%bh) de la semilla; a, y b son los parámetros que se van a determinar mediante la regresión lineal; Ln representa el logaritmo natural; y exp es el operador exponencial. Este modelo dió los mejores resultados para los datos de germinación y emergencia, pero no para los de vigor. Para este caso fué necesario añadir un tercer término a la ecuación:

$$\text{Ln}\{(100-V)/V\} = a + b.S^2.\text{exp}(H) + c.S^2.H \quad (2)$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

	GERMINACION	EMERGENCIA	VIGOR
Coefficiente a :	-2.8811 E+00	-2.0013 E+00	-2.0956 E+00
Coefficiente b :	6.6688 E-09	6.0260 E-09	5.8581 E-09
Coefficiente c :	0.0	0.0	2.5706 E-04
Correlación r ² :	0.854	0.926	0.769

De la ecuación anterior se puede despejar el valor de V (G, E, ó V), mediante una operación sencilla, obteniéndose que:

$$V = 100 / \{1 + \text{exp}(a + b.S^2.\text{exp}(H) + c.S^2.H)\} \quad (3)$$

Mediante este modelo es posible estimar el valor de la viabilidad V (germinación, emergencia, ó vigor) de las semillas de frijol luego de S semanas de AH a 30°C, a diferentes contenidos de humedad H (%bh).

La Figura 1 presenta los datos experimentales y calculados con el modelo (ecuación 3), de germinación (G), emergencia (E), y vigor (V), para cuatro niveles de humedad, a lo largo de las 32 semanas de almacenamiento. Como puede verse, los datos de germinación y emergencia son simulados bastante bien por el modelo, pero los datos de vigor presentan diferencias apreciables, debido en parte a las grandes variaciones de los datos experimentales.

La Figura 2 muestra los valores simulados de G (germinación), E (emergencia), y V (vigor), para contenidos de humedad en el rango de 11.5% a 14% durante las 32 semanas de almacenamiento. La Figura 3 muestra el cambio en éstos tres índices en un rango de humedades que va del 10 al 14% (bh), a las 8, 16, 24, y 32 semanas. A partir de los datos consigandos en estas figuras es posible determinar el momento en el cual comienza el deterioro acelerado de las semillas y cuál debe ser la humedad apropiada de acuerdo con el periodo de almacenamiento requerido.

Otra forma más precisa de hacer estas determinaciones consiste en despejar el término semanas de la ecuacion propuesta:

$$S = \sqrt{\{(L-a)/(b.\exp(H)+c.H)\}^2} \quad (4)$$

donde: $L = \ln\{(100-G)/G\}$ (5)

En este caso G representa el valor de germinación o emergencia (%) esperado luego de guardar semillas de frijol en AH a 30°C. con un contenido de humedad H (%bh), durante S semanas. La Figura 4 muestra los tiempos de almacenamiento permisibles para lotes de semilla de frijol con germinación inicial del 96%, si se desea que la germinación final sea 90% ó la emergencia final sea 85%, en un rango de humedades del 10 al 14% (bh). Se puede ver que por ejemplo, si se desea guardar semilla en AH durante 32 semanas sin que la germinación final sea inferior al 90%, ó la emergencia sea inferior al 85%, la semilla debe tener un contenido de humedad máximo del 11.5%. También se observa que si se almacena la semilla con 13% de humedad, podrá ser guardada en AH solamente durante 10 semanas, al final de las cuales las semillas tendrán un índice de emergencia del 85%, ó durante 15 semanas, al final de las cuales las semillas tendrán 90% de germinación.

Se observa también que la germinación se mantiene en 90% hasta por 70 semanas y la emergencia se mantiene en 85% hasta por 45 semanas, si se guardan semillas de frijol en AH a 30°C con 10% de humedad.

C. Estimación del Contenido de Humedad en Equilibrio

En la Tabla 1 se presentan los datos obtenidos de HR del aire en equilibrio con las semillas a diferentes humedades. Con el fin de relacionar la humedad de la semilla con las condiciones de

temperatura y humedad del aire en que se encuentran, se estudió la posibilidad de que estos datos se ajustaran a la ecuación de CHE presentada por Roa (Rossi y Roa, 1980) para semillas de frijol:

$$CHE = A.exp(B) \quad (6)$$

donde: $A = a.R+b.R^2+c.R^3 \quad (7)$

y: $B = (d.R+e.R^2+f.R^3+g.R^4).(h+T) \quad (8)$

donde CHE es el contenido de humedad en equilibrio de las semillas en base seca (bs, decimal); R es la HR del aire (decimal); T es la temperatura (°C) del aire en contacto con las semillas; exp es el operador exponencial; a, b, c, d, e, f, g, h, son constantes que para el caso de semillas de frijol son iguales a:

a = 0.89291	e = 0.039437
b = 0.63649	f = -0.035660
c = -1.09250	g = 0.017932
d = -0.02210	h = 273.0

Para convertir los datos de CHE obtenidos con esta ecuación de bs decimal a bh porcentaje, es necesario utilizar la siguiente relación:

$$H = 100.S/(1+S) \quad (9)$$

donde: H = Humedad de la semilla (bh, %)

S = Humedad de la semilla (bs, decimal)

Aunque el rango de temperaturas y humedades para el cual se obtuvieron datos es pequeño (30°C y 10.3 a 14.2% bh), sin embargo es suficientemente amplio para las humedades que se emplean en AH a corto plazo y a alta temperatura. Con esta información se pudo verificar que la ecuación de Roa para frijol se ajusta bien a la variedad Calima.

La Figura 5 presenta el CHE para tres isotermas (5, 25 y 40°C). Nótese la escasa variación en el contenido de humedad de las semillas debida a la temperatura para una HR determinada.

Para el caso en el que se desee encontrar las condiciones de temperatura y HR ambientales necesarias para que la semilla de frijol alcance cierto CHE, es más conveniente si se obtiene la HR en equilibrio con semillas a diferentes contenidos de humedad. En realidad la información es exactamente la misma y se obtiene utilizando la misma ecuación de Roa; lo único que cambia es su presentación.

A continuación se presentan los valores de la HR del aire (%), en equilibrio con semillas de frijol en un rango de humedades del 10 al 15% (bh) y temperaturas entre 10 y 40°C.

HUMEDAD RELATIVA (%) EN EQUILIBRIO CON SEMILLAS DE FRIJOL

TEMP. (°C)	— HUMEDAD DE LAS SEMILLAS DE FRIJOL (%bh) —					
	10	11	12	13	14	15
5	37.0	44.6	51.7	58.1	63.7	68.5
10	38.5	46.2	53.3	59.6	65.0	69.7
20	41.7	49.5	56.5	62.4	67.5	71.9
30	45.0	52.8	59.4	65.0	69.8	73.8
40	48.4	55.9	62.2	67.4	71.8	75.5

La Figura 6 presenta esta información gráficamente.

Así por ejemplo, se puede encontrar que para que las semillas de frijol alcancen una humedad del 11% (bh), es necesario que el aire en contacto con ellas esté a 40°C y 56% HR; ó a 30°C y 53% HR; ó a 20°C y 49% HR; ó cualquier otra combinación de valores de temperatura y HR definida por la línea de humedad del 11%. Esta información es muy útil para cuando no se dispone de otro método para la determinación del contenido de humedad de las semillas antes de su almacenamiento.

IV. CONCLUSIONES

De la información presentada se puede concluir lo siguiente:

- 1- Las semillas de frijol de buena calidad inicial (germinación 96%, emergencia 90%, y vigor 88%), almacenadas en empaques herméticos en un ambiente a 30°C mantuvieron su calidad hasta por 32 semanas al ser almacenadas con contenidos de humedad inferiores al 12% (bh).
- 2- Las semillas de frijol almacenadas herméticamente a 30°C con un contenido de humedad del 12% (bh), alcanzan el equilibrio higroscópico con el aire a una HR del 60%. Esta HR es lo suficientemente baja para evitar la reproducción de bacterias, pero no es suficiente para controlar el crecimiento de hongos tales como Aspergillus spp., Penicillium spp, y Rhizopus spp.
- 3- Es posible predecir variaciones en los índices de germinación, emergencia, y vigor de las semillas de frijol de buena calidad almacenadas en empaques herméticos a 30°C en un rango de humedad del 10 al 14% bh, mediante la utilización del siguiente modelo matemático:

$$V = 100 / (1 + \exp(a + b \cdot S^2 \cdot \exp(H) + c \cdot S^2 \cdot H))$$

donde: V representa germinación, emergencia, ó vigor de la semilla; S semanas de almacenamiento; H contenido de humedad de las semillas (%bh); a , b , y c son los coeficientes calculados con los datos experimentales y cuyos valores aparecen en la parte de resultados; y \exp es el operador exponencial.

- 4- Es posible determinar el contenido de humedad de las semillas de frijol variedad Calima, en equilibrio con el aire, como función de la temperatura y la HR del aire que las rodea, mediante la utilización de la ecuación de Roa, tal como se presentó en los resultados.

V- BIBLIOGRAFIA

AOSA. 1983. Seed vigor testing handbook. Association of Official Seed Analysts. Handbook on Seed Testing. Contribution N°32. USA.

Bass, L. N. 1973. Controlled atmosphere and seed storage. Seed Science & Technology, 1:463-492.

_____. 1975. Seed moisture and storage. Seed Science & Technology, 3:743-746.

Berger, R. D. 1981. Comparison of the Gompertz and Logistic equations to describe plant disease progress. Phytopathology, 71:716-719.

Burrell, N. J. 1980. Effect of air tight storage on insect pests of stored products. En: Controlled Atmosphere Storage of Grains. Elsevier Scientific Publishing Company. 601p.

CIAT. 1987. CIAT Report. 112p.

_____. 1988a. CIAT Report. 130p.

_____. 1988b. Trends in CIAT commodities.

Delouche, J. C. 1973a. Precepts of seed storage. Proceedings Short Course for Seedsmen. Vol. 16. Seed Technology Lab. Mississippi State University.

_____. 1973b. The problem of vigor. Proceedings Short Course for Seedsmen. Vol. 16. Seed Technology Lab. Mississippi State University.

_____. 1980. Some thoughts on seed storage. Proceedings Short Course for Seedsmen. Vol. 22. Seed Technology Lab. Mississippi State University.

_____. 1985. Physiological seed quality. Proceedings Short Course for Seedsmen. Vol. 27. Seed Technology Lab. Mississippi State University.

_____ y Baskin, C. C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Science & Technology, 1:427-452.

_____ ; Matthes, R. K.; Dougherty, G. M.; y Boyd, A. H. 1973. Storage of seed in subtropical and tropical regions. Seed Science & Technology, 1:663-692.

Ellis, R. H. 1988. The viability equation, seed viability nomographs and practical advice on seed storage. Seed Science & Technology, 16:29-50.

- _____, y Roberts, E. H. 1980. Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*, 45:13-30.
- FAO. 1987. Generación de tecnologías adecuadas al desarrollo rural. Serie desarrollo rural N°4. Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Freire, M. S. y Mumford, P. M. 1986. The efficiency of a range of containers in maintaining seed viability during storage. *Seed Science & Technology*, 14:371-381.
- Harrington, J. F. 1959. Drying, storing and packaging seeds to maintain germination and vigor. *Proceedings Shortcourse for Seedsmen*, 89-107. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University.
- _____. 1973a. Packaging seed for storage and shipment. *Seed Science & Technology*, 1:478-492.
- _____. 1973b. Biochemical basis of seed longevity. *Seed Science & Technology*, 1:453-461.
- _____. y Douglas, J. E. 1970. Seed storage and packaging. Applications for India. National Seeds Company Ltd. New Delhi. 222p.

- Harty, R. L. 1977. The influence of storage conditions on bean seed quality. *Queensland Agricultural Journal*, 103:534-535.
- Houston, D. F. 1973. Linear function for comparing viability loss rates in stored seeds. *Seed Science & Technology*, 1:795-798.
- ISTA. 1985. International rules for seed testing. *Seed Science & Technology*, 13:130-142.
- Justice, O. L. y Bass, L. N. 1978. Principles and practices of seed storage. *Agriculture Handbook N° 506*. USDA. 289p.
- Martinez, J. B. 1986. Resultados preliminares de los ensayos de almacenamiento de frijol en Centro Loja. *Memorias III Mesa Redonda Latinoamericana sobre Prevención de Pérdidas Poscosecha de Granos*. Colombia.
- Moreno, E.; Benavides, C.; y Ramires, J. 1988. The influence of hermetic storage on the behavior of maize seed germination. *Seed Science & Technology*, 16:427-434.
- Nakamura, S. 1975. The most appropriate moisture content of seeds for their long life span. *Seed Science & Technology*, 3:747-759.

- Owen, E. B. 1956. The storage of seeds for maintenance of viability. Commonwealth Agricultural Bureaux. England. 81p.
- Petruzzelli, L. 1986. Wheat viability at high moisture content under hermetic and aerobic storage conditions. *Annals of Botany*, 58:259-265.
- Pimentel, M. L.; Araujo, M. R.; Lira, M. A.; y Tabosa, J. N. 1987. Armazenamento do milho a nível de fazenda. Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Brasil.
- Popinigis, F. 1974. Fisiologia de sementes. AGIPLAN, Brasilia, Brasil. 78 p.
- Roberts, E. H. 1961. The viability of rice seed in relation to temperature, moisture content and gaseous environment. *Annals of Botany*, 25:381-390.
- Roberts, E. H. 1972. Viability of Seeds. Syracuse University Press. Syracuse N.Y. 448 p.
- _____. 1981. Physiology of ageing and its applications to drying and storage. *Seed Science & Technology*, 9:359-372.
- Rossi, S. J. y Roa, G. 1980. Secagem e armazenamento de productos agropecuarios com uso de energia solar e ar natural. Publicação ACIESP Nº22. Sao Pablo, Brasil. 295 p.

Schwartz, H. F. y Gálvez, G. E. 1980. Bean production problems.

CIAT. Colombia. 300 p.

Sigaut, F. 1980. Significance of underground storage in traditional systems of grain production. En: Controlled Atmosphere Storage of Grains. Elsevier Scientific Publishing Company. 601p.

Villiers, T. A. y Edgcumbe, D. J. 1975. On the cause of seed deterioration in dry storage. Seed Science & Technology, 3:761-774.

FIGURA 1. EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL ALMACENAMIENTO HERMÉTICO DE SEMILLAS DE FRIJOL. DATOS EXPERIMENTALES Y CALCULADOS DE GERMINACIÓN, EMERGENCIA, Y VIGOR.

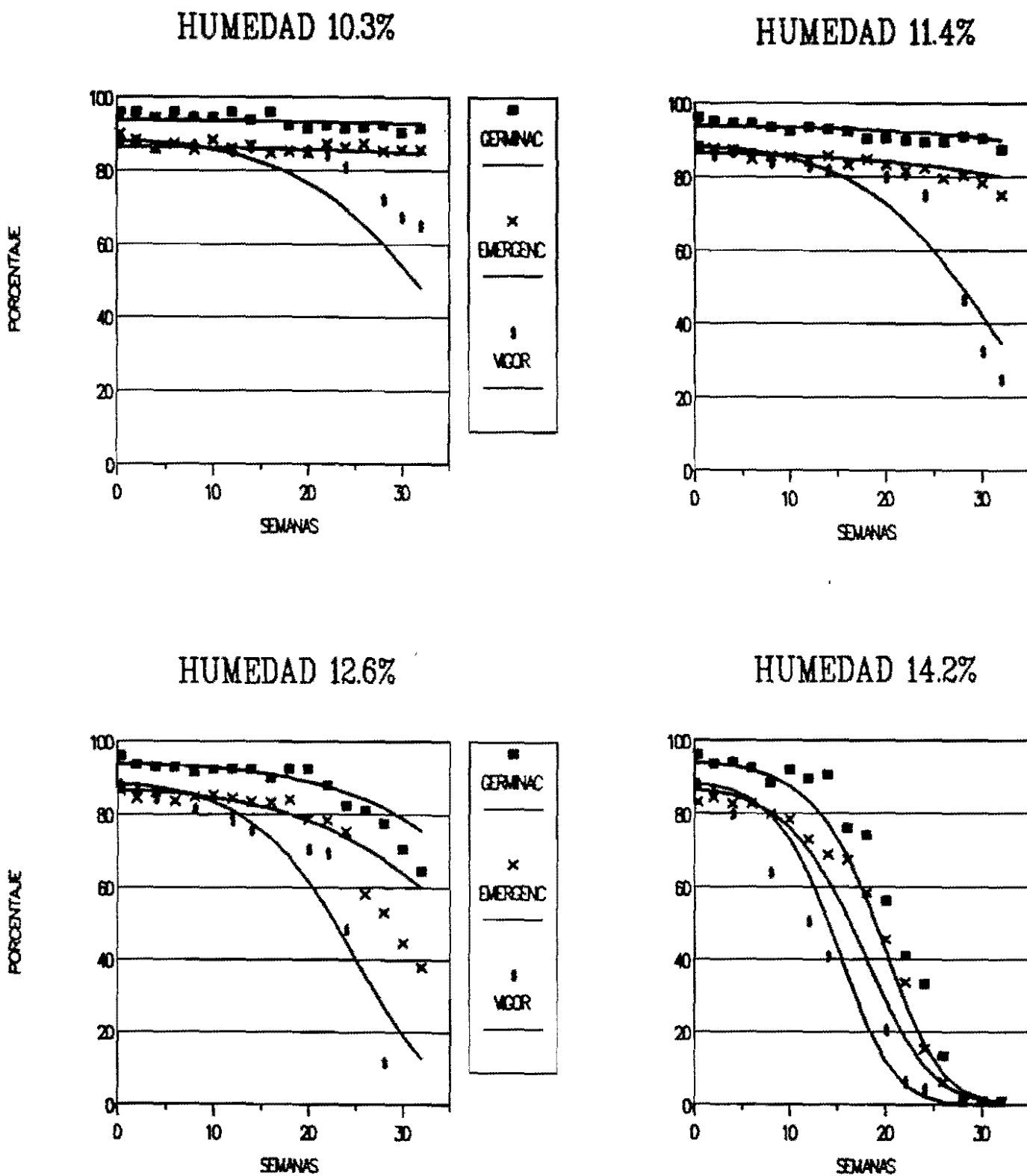
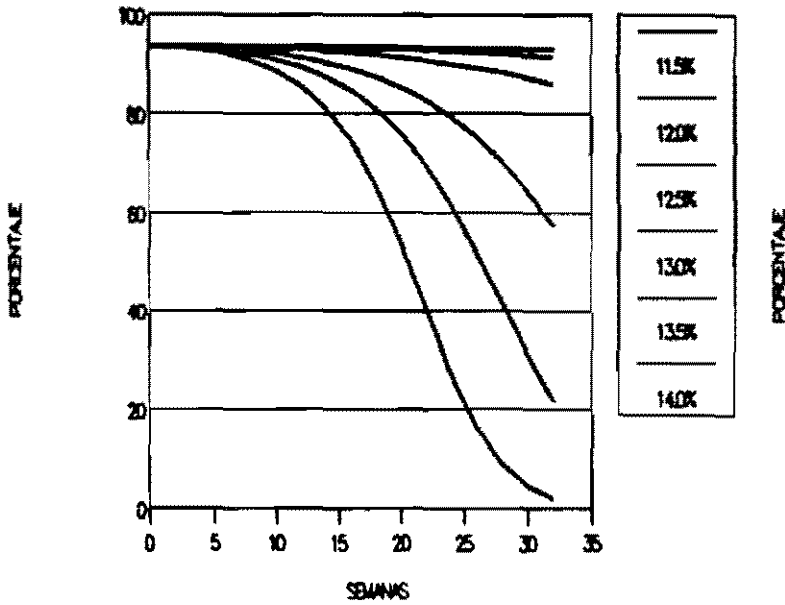
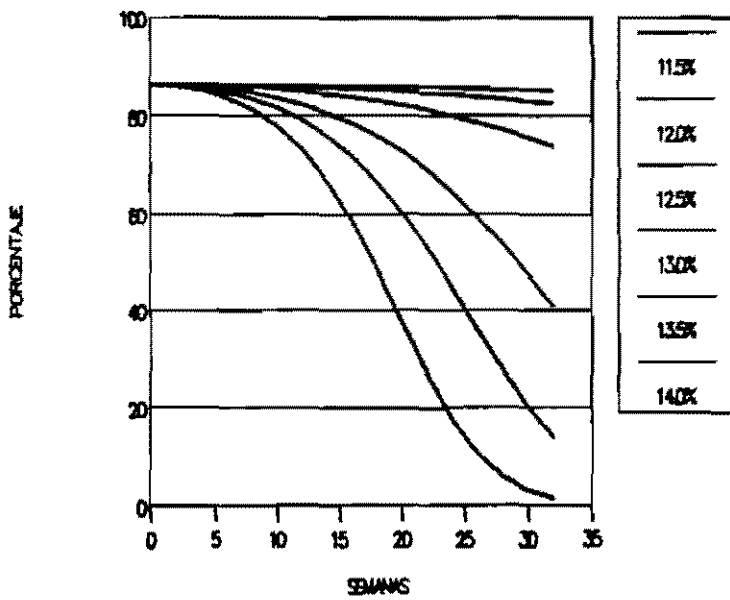


FIGURA 2. GERMINACIÓN, EMERGENCIA, Y VIGOR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO. DATOS CALCULADOS CON EL MODELO MATEMÁTICO.

GERMINACION



EMERGENCIA



VIGOR

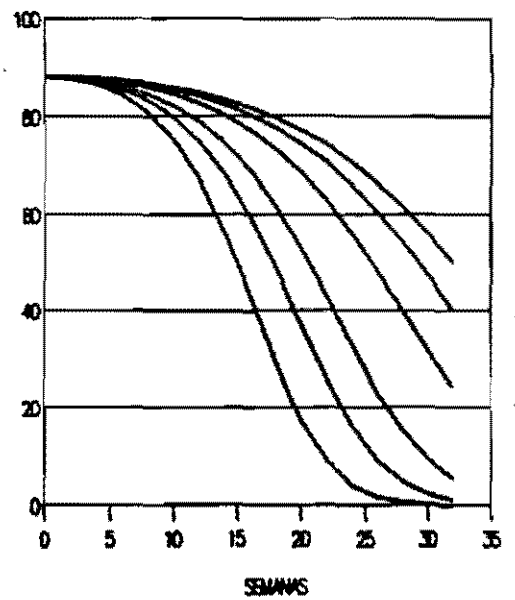
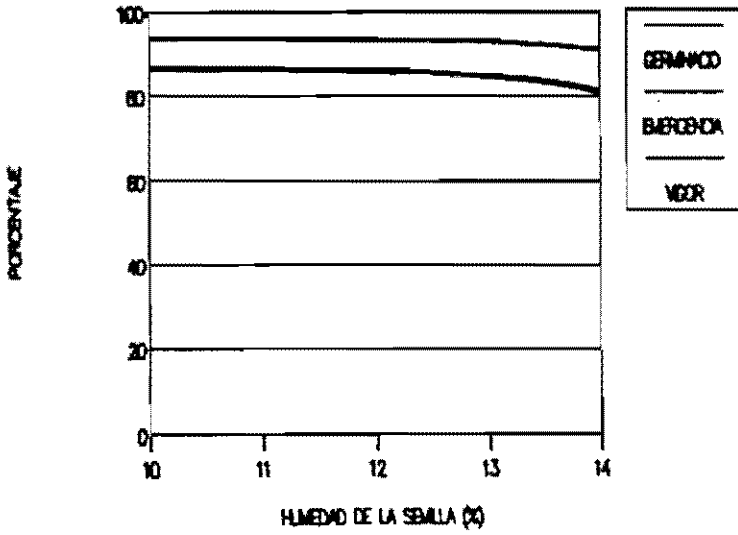
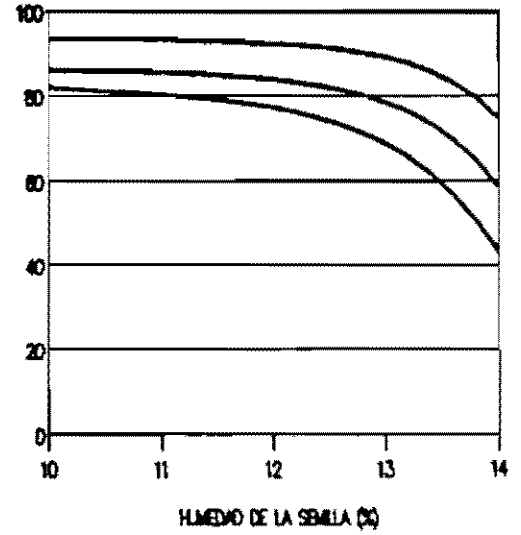


FIGURA 3. GERMINACIÓN, EMERGENCIA, Y VIGOR EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA SEMILLA. DATOS CALCULADOS CON EL MODELO MATEMATICO.

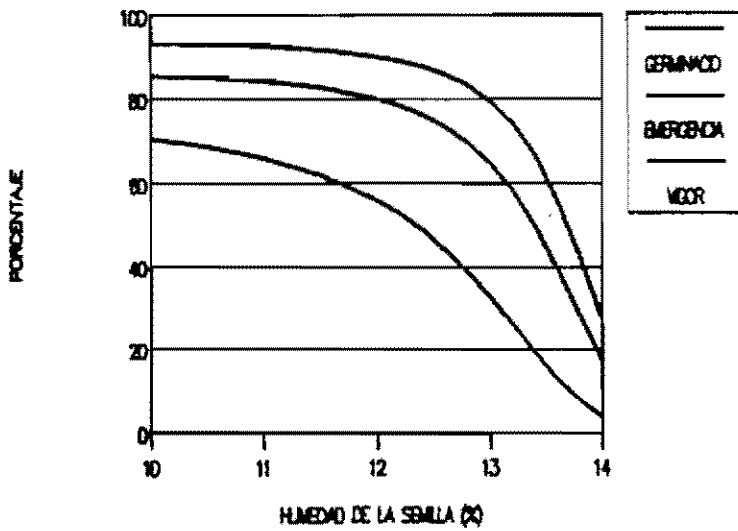
8 SEMANAS



16 SEMANAS



24 SEMANAS



32 SEMANAS

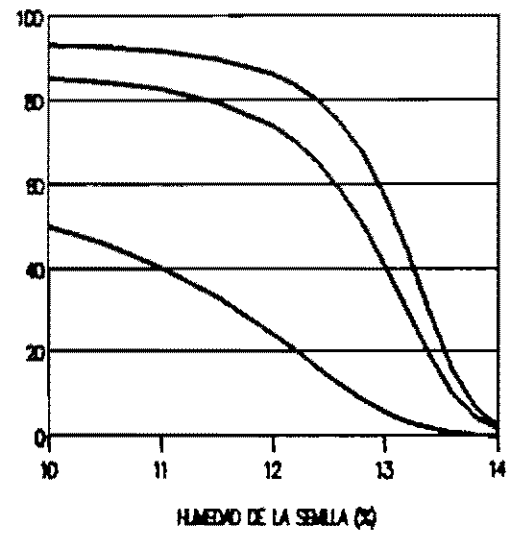


FIGURA 4. Maximo periodo de almacenamiento hermético permisible para que la semilla de frijol mantenga los niveles de germinación y emergencia indicados por las isogramas.

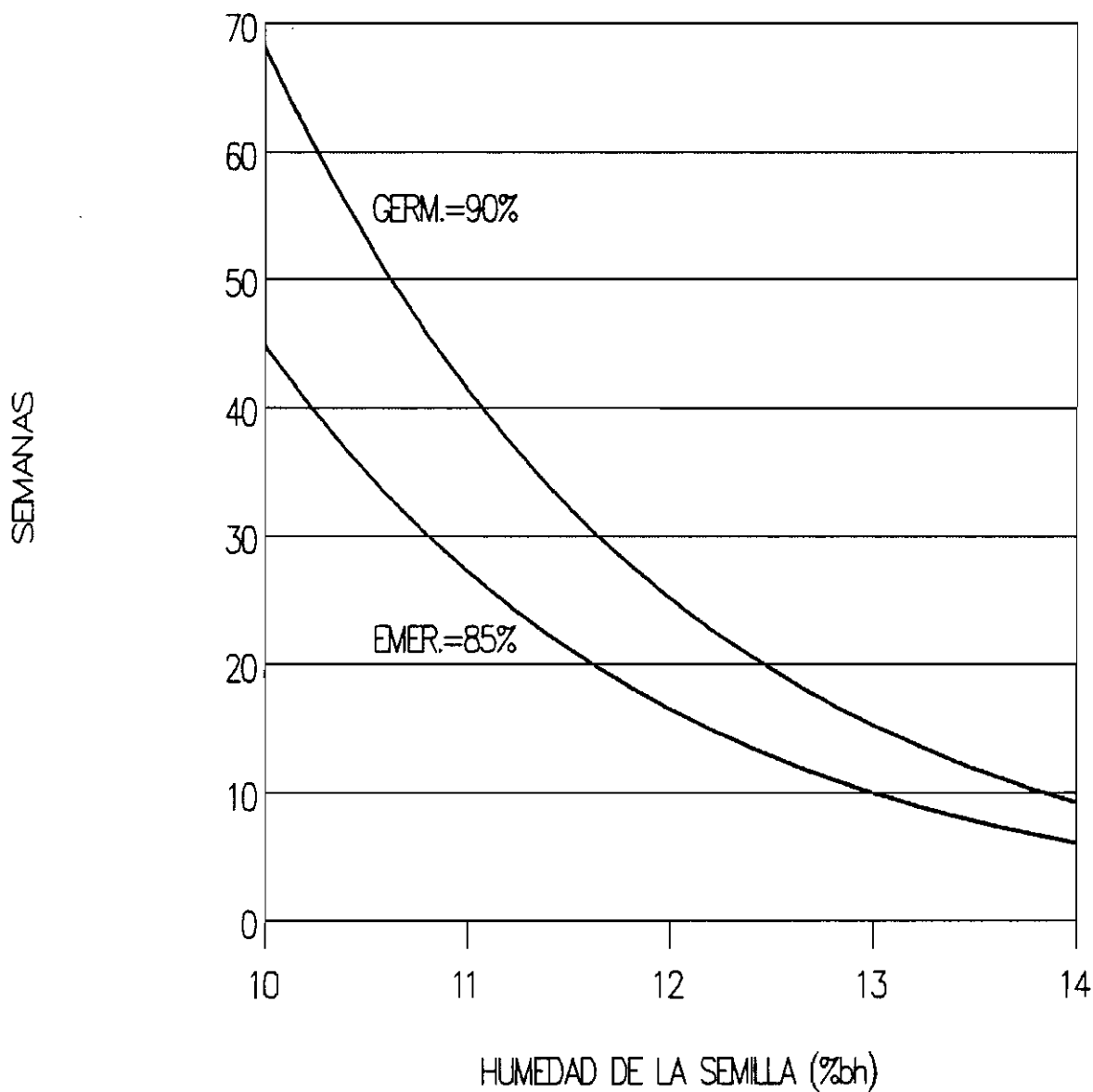


FIGURA 5. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO DE LA SEMILLA DE FRIJOL (ISOTERMAS)

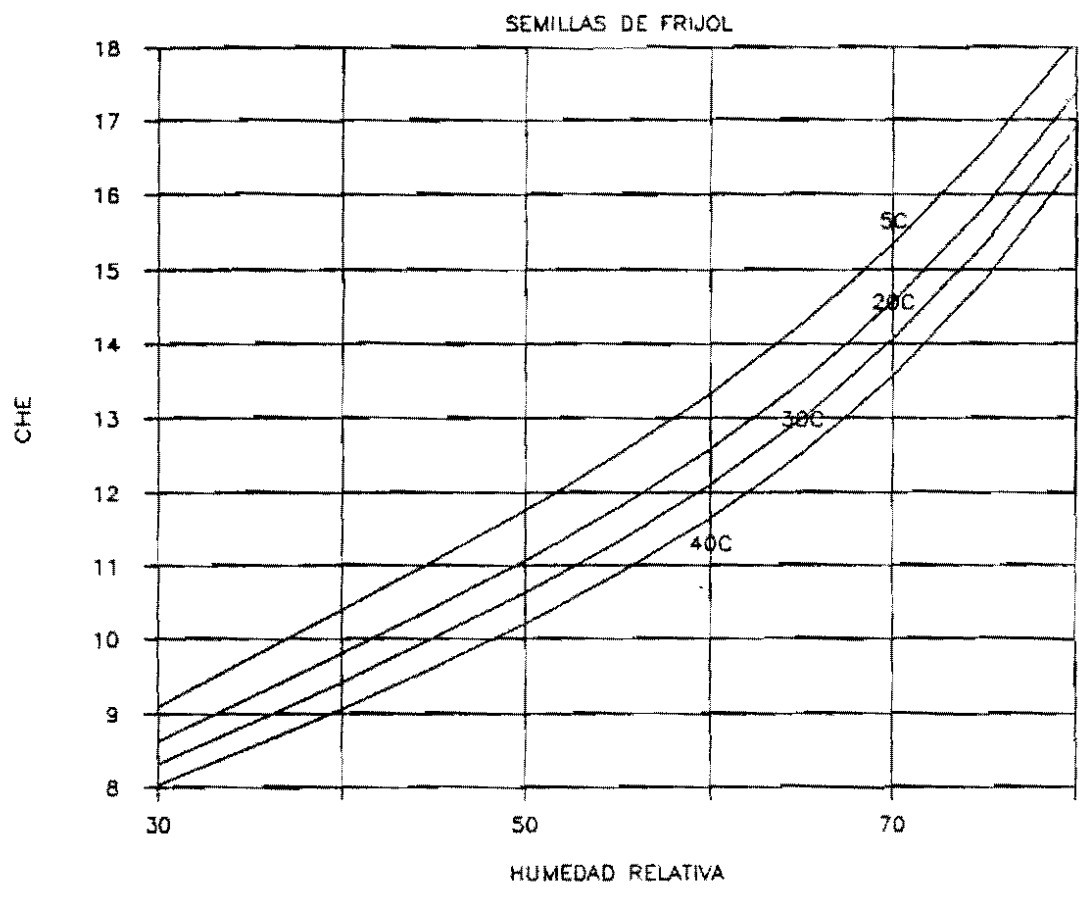


FIGURA 6. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO DE LA SEMILLA DE FRIJOL . (ISOGRAMAS DE HUMEDAD)

