

SB
327
.B.7



**ALTERNATIVAS PARA ESTIMAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD
DEL GRANO DE FRIJOL EN EL CAMPO
(Phaseolus vulgaris L.)**

Edgar Burbano Orjuela *

013 14

CIAT
COLECCION HISTORICA

* Asociado de Investigación, Unidad de Semillas, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

INDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
REVISION DE LITERATURA	3
La humedad de la semilla, su naturaleza	3
Clasificación de métodos para determinar la humedad	8
Métodos directos	9
Método de la estufa como prueba de las Organizaciones	9
Otros equipos para determinar la humedad	9
Método de destilación	10
Métodos indirectos	10
Métodos higrométricos	11
Selección del método apropiado para medir la humedad	12
MATERIALES Y METODOS	13
Materiales	13
Obtención de la muestra original	13
Muestra de trabajo	14
Diseño experimental	14
Descripción de los métodos	14
Método de la uña	14
Método de la sal	15
Determinación de la humedad en la estufa	16
Equipos	16
Estufa temperatura constante	16
RESULTADOS Y DISCUSION	20
Método de la uña	20
Metodo de la sal	29
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFIA	36
APENDICES	39

RESUMEN

Uno de los mayores problemas que se encuentran con las semilla en áreas tropicales y subtropicales, es la humedad. El problema se agrava más cuando faltan metodologías relevantes para estimar el contenido de humedad de las semillas a nivel de campo.

Los agricultores utilizan prácticas simples para conocer si la semilla está o no seca, como la marca de la uña; el sonido; y la mordida, pero realmente el problema surge cuando el criterio de evaluación no está claro. La efectividad de estas metodologías no ha sido verificada científicamente.

Por consiguiente, se investigó la validez de dos métodos: el de la uña, basado en características físicas de la semilla y el de la sal, basado en las características higroscópicas de la semilla.

Los resultados indican que semillas por debajo de 12% de humedad para el caso de las dos variedades estudiadas no debe quedar marca de la uña y en el caso de la sal, si la semilla está por debajo de 12% preferiblemente o 13% de humedad, la sal no debe pegarse a las paredes del frasco. De esta manera se están presentando metodologías efectivas, sencillas y de bajo costo para el agricultor las cuales permiten estimar la humedad de las semillas y granos de frijol.

INTRODUCCION

En los países tropicales, donde prevalecen condiciones ambientales de altas temperaturas con una alta humedad ambiental, la humedad de la semilla constituye un factor determinante en la producción, permitiendo o impidiendo la cosecha, obligando el secamiento en poscosecha, ocasionando calentamiento y pudrición de la semilla, promoviendo el deterioro fisiológico y facilitando la incidencia de enfermedades saprofitas. Garay, A. Aguirre, R. y Giraldo G. (1989).

Los trabajos de investigación realizados en otros países de América Latina, para diagnosticar la calidad de la semilla de frijol que usa el pequeño agricultor son muy pocos, para el caso de frijol la mayoría de trabajos tendientes a conocer la calidad de la semilla se han llevado a cabo en varios estados de Brasil.

El contenido de humedad de la semilla es una de las características que tiene implicación profunda en aspectos claves de la producción de semillas. Existe una estrecha relación del contenido de humedad y madurez, óptimo momento de cosecha, longevidad y almacenamiento, economía en el secamiento artificial, daños debido al calor, frío, fumigaciones, insectos y patógenos, daño físico y peso de la semilla. Grabe, D.F.(1985).

Como el contenido de humedad y su manejo influyen muchos factores de calidad fisiológica esenciales para el control de calidad, los procedimientos apropiados para medir la humedad de la semilla son necesarios en el mercado y la investigación.

La mayoría de literatura sobre determinación del contenido de humedad en diferentes productos testifica que no hay un solo método de determinación de humedad satisfactorio para todos los productos o situaciones, sucediendo lo mismo tanto para semillas como granos. El método óptimo para determinar una

prueba de humedad depende de la composición química y estructura de la semilla, nivel del contenido de humedad, grado de exactitud y precisión requerido tiempo de la prueba, técnicas apropiadas y costo.

El procedimiento ideal de la prueba de humedad debería ser que esté adaptado a todas las semillas, que mida la humedad de 0 a 1 g de H₂O de peso fresco, con alta precisión, que tome menos de un minuto, que requiera un mínimo de entrenamiento y que sea de bajo costo. Desafortunadamente es imposible combinar todos estos atributos en un solo procedimiento. Estos métodos que pueden medir un rango completo de humedad no siempre son rápidos y aquellos que son muy precisos no siempre son baratos. Grabe, D.F.(1989).

Los agricultores utilizan prácticas simples para conocer si la semilla está o no seca; como la marca de la uña, el sonido, la mordida, pero realmente el problema surge cuando faltan metodologías relevantes para estimar el contenido de humedad de las semillas a nivel de campo. Lo anterior y con el fin de cumplir con el objetivo general del trabajo se evaluaron dos técnicas que permitan estimar si la semilla se encuentra seca o no.

El objetivo específico consistió en evaluar el método de la uña utilizando ciertos parámetros que permitan medir la marca que deja la uña y relacionarla con el contenido de humedad de la semilla, Por otra parte se evaluó el uso de la sal como otra alternativa para estimar el contenido de humedad aprovechando tanto la característica higroscópica de la sal como de la semilla, todos estos métodos fueron referenciados con el método oficial de la estufa.

REVISION DE LITERATURA

LA HUMEDAD DE LA SEMILLA, SU NATURALEZA

La humedad de la semilla varía dependiendo del ambiente que la rodea. La naturaleza de dicha humedad y los procesos biológicos que ella ocasiona cambia en función a su nivel o concentración dentro de la semilla. Existe una alta avidéz por la humedad, cuando el contenido de humedad de la semilla está muy bajo, en condiciones de humedad relativa inferior al 20%. Esta avidéz en cambio es muy baja entre 20 y 60 % de humedad relativa. La avidéz es nuevamente muy alta cuando la humedad relativa es mayor del 60%, es decir cuando la semilla contiene humedades mayores de 14%. Este proceso se presenta en las siguientes etapas. Leopold, A.C. y Vertucci, C.W.(1989).

El agua en la región 1, funciona como enlace químico y no tiene movilidad. Se piensa que en estos niveles el deterioro se produce por auto-oxidaciones o reacciones enzimáticas. El agua en la región 2, comienza a tener propiedad de solvente. A estos niveles la difusión ya es evidente. Se especula que los procesos oxidativos en la semilla a estos niveles de humedad pueden ser enzimáticos. A estos niveles la respiración mitocondrial aumenta, la energía acumulada en forma de trifosfoadenilatos (ATP), se consume pero no se sintetizan. En la región 3, el agua tiene propiedades similares al agua líquida, y las macromoléculas muestran agua libre sobre sus superficies.

A estos niveles de humedad, la semilla muestra todos los procesos metabólicos, respiración, producción de adenilatos, desdoblamiento de substratos de reserva etc.

A estos niveles el deterioro ocurre por la respiración, ataque microbial, calentamiento, desdoblamiento de los substratos de reserva, etc. Cuando la temperatura es más alta, estos procesos de deterioro se aceleran.

En conclusión las reacciones fisiológicas de la semilla se incrementan cuantitativamente en la medida que la humedad de la semilla es mayor.

Por lo tanto, desde el momento en que la semilla ha llegado a su desarrollo total en el campo, la humedad es una amenaza constante a la calidad y longevidad de la semilla.

Las semillas de calidad, son indispensables en el desarrollo de una agricultura eficiente y de una economía agrícola estable y la agricultura es el sector básico que mantiene los demás sectores de la economía nacional. Siendo entonces la semilla un insumo clave para el mejoramiento de la productividad de la parcela agrícola, es necesario prestar mucha atención a los atributos que la caracterizan los cuales en conjunto constituyen lo que se denomina calidad. Es la humedad de la semilla, un atributo de la calidad física que junto a la apariencia, color, tamaño, peso deben ser controlados para asegurar la calidad.

Las semillas son higroscópicas. Estas absorben humedad o pierden humedad hasta que se establezca el equilibrio entre el contenido de humedad de la semilla (presión del vapor en la semilla) y la humedad relativa de la atmósfera (presión del vapor de la humedad de la atmósfera). En este equilibrio la semilla no se "cierra", el intercambio entre ella y el ambiente se iguala de tal forma que no hay ni ganancia ni pérdida neta en el contenido de humedad.

El contenido de humedad en equilibrio varía con las diferentes clases de semilla. En general, el contenido de humedad en equilibrio de las semilla de aceite es más bajo que el de las semillas de almidón en el mismo nivel de humedad relativa y de temperatura.

Es ampliamente aceptado que los factores más importantes en el almacenamiento de semillas, aparte de su calidad inicial son su contenido de humedad, la

temperatura y la concentración de oxígeno en el ambiente en que se almacena Roberts, E.H.(1972). Entre éstos la alta humedad es la causa principal de la pérdida de viabilidad de la semilla.

Existen contenidos de humedad claves para almacenar la semilla; del 13 - 18% de humedad, se dice que el porcentaje de respiración sigue siendo alto; se tendrán calentamientos a niveles más altos, el moho y los insectos pueden causar daño; hay resistencia de la semilla a daños físicos; porcentajes de 10 - 13% la semilla se puede guardar bien por 6 a 8 meses en un almacén abierto de clima templado, los insectos todavía pueden ser un problema a las semillas que sean susceptibles; la semilla es susceptible a daños físicos. Harrington, J.F.(1973).

La semilla posee su máxima capacidad de germinación y vigor cuando alcanza la "madurez fisiológica" y éste es el punto en que el máximo peso seco es obtenido aunque el contenido de humedad es alto. Si la humedad en la semilla es mayor que 40-60% entonces ocurre la germinación. Así mismo entre el 18-20% y 46-60% de humedad la respiración es sumamente alta, tanto la semilla como la de los microorganismos, puede ocurrir el "calentamiento de la semilla" cuando hay poca aireación y la semilla puede morir.

Si la semilla está lo suficientemente seca puede ser almacenada o procesada sin ningún peligro, pero si el contenido de humedad es alto, deberá ser reducido a niveles de seguridad.El secado natural o artificial de las semillas puede ser la respuesta a varios de los problemas en la producción de semilla de alta calidad, mediante él la humedad es reducida a porcentajes en los cuales los cambios fisiológicos y las actividades microbianas se reducen a niveles que no afectan la viabilidad y vigor de la semilla.

Las reacciones de deterioro suceden frecuentemente en la semilla más fácilmente si el contenido de humedad es alto, convirtiéndose así la humedad en la clave para alcanzar la longevidad y supervivencia en la semilla (Justice y Bass 1978).

El contenido de humedad es un factor importante para considerar una cosecha segura de máxima calidad y es un factor importante para asegurar que la calidad sea mantenida en el almacenamiento (Vaughan, Ch. 1981).

Es importante conservar la calidad inicial de la semilla mediante prácticas adecuadas de almacenamiento si se espera obtener una buena productividad del cultivo. Las principales causas del problema durante el almacenamiento se deben a la utilización de semilla de baja calidad; semillas con un alto contenido de humedad; períodos de almacenamiento muy largos y almacenes húmedos, calientes, poco ventilados y con condiciones sanitarias inadecuadas (Delouche, 1973).

Es importante para el pequeño agricultor producir semilla de buena calidad pero además mantenerla a través del tiempo, dependiendo de las condiciones de almacenamiento, por eso es de suma importancia conocer la humedad de las semillas para garantizar la calidad fisiológica.

Pimentel y Miranda (1978) analizaron la calidad física de las semillas de frijol utilizados en el estado de Pernambuco. Reportaron que la mayoría de las semillas no habían sido seleccionadas y presentaban un alto nivel de mezcla varietal. Es de resaltar que un 50% de las muestras tenían un elevado porcentaje de humedad entre 16% a 20% y estaban bastante deterioradas dando como resultado una germinación que osciló entre 14% a 80%, del 42.5% de muestras analizadas.

Sánchez y Pimentel (1974) realizaron un trabajo tendiente a diagnosticar la calidad de la semilla de frijol en Costa Rica. El promedio de humedad encontrados en los lotes analizados fue de 16.4% y una germinación del 72%

Mendoza, F. (1990) para continuar con trabajos que muestren la calidad de la semilla que usa el agricultor para su próxima siembra, realizó un trabajo en dos zonas representativas como frijoleras en Colombia, una en Caldono (Siberia y Pescador) en el Departamento del Cauca y en Darién y Calima en el Departamento del Valle, para un total de 53 agricultores muestreados. Como características de calidad evaluadas se tuvieron humedad, germinación y vigor.

Los resultados mostraron que para la zona de Caldono la humedad de la semilla estuvo en un rango de 9.8% a 19.0% para un promedio de 14.5% indicando esto que el 56% de las muestras tenían humedad por encima de 14%. En relación a los resultados de la zona Calima - Darién los rangos de humedad estuvieron de 13.1% a 26.7% indicando que el 97% de las muestras estaban por encima de 14%.

La calidad fisiológica de las semillas 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 fisiológica 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 1985).

CLASIFICACION DE METODOS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD

Los métodos pueden ser clasificados bien como primarios o secundarios (Hart & Golumbia 1963). Los métodos primarios son métodos directos en los cuales el agua es removida y la cantidad determinada cuantitativamente.

Hay tres métodos principales de remoción y medición de agua durante la prueba de humedad. (i) secamiento con aire caliente en estufa y calculando la humedad por pérdida de peso de la muestra original, (ii) removiendo por destilación y midiendo la cantidad volumétricamente en una probeta, (iii) extracción en un solvente como metanol y determinando la cantidad cromatográficamente o con espectrofotómetro.

Estos métodos miden el agua directamente, no requieren calibración con otros métodos, ellos mismos se pueden calibrar. Ampliamente aceptados los métodos primarios son considerados básicos o métodos de referencia. Los métodos primarios son generalmente los mas precisos, pero requieren un excesivo tiempo para su uso en la producción de semillas.

Los métodos secundarios o indirectos miden algunas características químicas o físicas de las semillas que esté relacionado con el contenido de humedad. Esas medidas son calibradas nuevamente con los métodos primarios o de referencia. La mayoría de los métodos secundarios miden propiedades eléctricas de la semilla.

METODOS DIRECTOS

Método de la Estufa

En el método de la estufa de aire, se pesa una cantidad de semilla y se seca a la estufa a determinada temperatura por un determinado espacio de tiempo, se enfría en un desecador y se vuelve a pesar y la pérdida de peso calculada es la humedad de la semilla. El método de la estufa es a menudo considerado un método básico, pero este es de hecho un método empírico, los resultados dependen del tiempo y de la temperatura de secamiento. El método de la estufa únicamente puede ser considerado preciso para todo tipo de semillas.

Los equipos adicionales fuera de la estufa para poder realizar la prueba son:
Termómetro, molino, recipientes de aluminio, balanza y desecador.

METODO DE LA ESTUFA COMO PRUEBA DE LAS ORGANIZACIONES DE SEMILLAS

El método de la estufa en la Reglas Internacionales para Análisis de Semillas (ISTA, 1985) fueron sometidas a varios cambios entre la primera edición en 1931 y la presente edición de 1985 (Grabe, 1987). Entre 1931 y 1953, se consideraba que todas las semillas se secaban en 5 horas a 103 °C (ISTA, 1931). Varias revisiones fueron hechas, en 1985, hay un método de alta temperatura 130 °C y un método de baja temperatura a 103 °C. El tiempo de secamiento a 130 °C para maíz es de 4 horas, para cereales 2 horas, y una hora para las otras semillas. El tiempo de secamiento a 103 °C es de 17 horas. Las semillas grandes son molidas y las pequeñas se dejan completas.

OTROS EQUIPOS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD

Existen otros clases de estufas que permiten determinar el contenido de humedad de las semillas, entre ellos están la Estufa Brabender que tiene la balanza incorporada para pesar la muestra sin removerla de la estufa y no hay necesidad de desecador ni recipientes. Este equipo se usa mucho en investigación (Pande,

1974). Estufa al vacío donde las semillas son secas a temperaturas menores que 100 °C hasta alcanzar un peso constante.

METODOS DE DESTILACION

Existen otros métodos como los de destilación que permiten determinar el contenido de humedad en las semillas, estos métodos se mencionan solamente ya que existen en diferentes libros su principio. Los métodos son el de Brown Duvel, extracción con solventes, extracción de agua, método de Karl Fischer. Igualmente se mencionan los equipos de espectrofotometría de luz infrarroja y los de gas cromatográfico.

METODOS INDIRECTOS

Métodos Eléctricos

Los medidores de humedad eléctricos han alcanzado una gran popularidad para medir la humedad tanto en semillas como en granos. Su velocidad, fácil manejo y su relativa precisión compensan más que la pérdida de precisión comparado con los métodos primarios. Los medidores eléctricos son ampliamente usados para cereales, semillas oleosas, edible leguminosas. Sin embargo no está calibrado o disponibles para pruebas de muchas gramíneas, hortalizas, flores y árboles.

Mediciones de humedad con medidores eléctricos se basan en el principio de ciertas propiedades eléctricas de la semillas relacionadas con el contenido de humedad. Esos medidores generalmente miden la conductividad o capacitancia de las semillas.

Medidores de conductividad eléctrica

Los medidores de conductividad eléctrica (resistencia) una corriente directa es impuesta entre dos electrodos. La semilla es colocada entre los electrodos, normalmente bajo presión y la cantidad de corriente es medida (Hunt, 1965). La conductividad aumenta con un aumento en el contenido de humedad.

Medidores de capacitancia

Medidores de capacitancia (constante dieléctrica), la muestra de peso conocido está expuesta a una alta frecuencia de voltaje de 1 a 20 microhz en la célula de medición. Algunas de las ondas son absorbidos por los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua. La dificultad de esta absorción o la capacidad de almacenar esta carga eléctrica es conocida como constante dieléctrica (Nelson, 1981). Las lecturas de estos equipos son trasladadas a porcentaje de humedad por tablas, lecturas directas o microprocesadoras (Hurburgh et al., 1985).

METODOS HIGROMETRICOS

Los cultivos de granos son higroscópicos por naturaleza. Esto significa que los granos ganan o pierden humedad dependiendo de la temperatura y de la humedad relativa del aire. Si el vapor o presión de humedad en el grano es mayor que la humedad en la atmósfera, el grano liberará la humedad al aire que le rodea, debido a esto el grano entrará en el proceso de secamiento. De otra forma, si el grano está seco y la atmósfera que le rodea es húmedo el proceso inverso ocurrirá y el grano absorberá humedad. Padua de D.B. (1970).

Los métodos higrométricos utilizan la naturaleza higroscópica de la semilla para medir su contenido de humedad. Cuando las semillas son colocadas en recipientes sellados, la HR del aire encerrado establece un equilibrio con el contenido de humedad de la semilla. La HR del aire es determinada dentro del contenido de la humedad de la semilla por comparación con la curva de equilibrio de humedad de la semilla. Estos métodos no destruyen las semillas. FAO (1985).

Exitosas aplicaciones de estas técnicas están en función de la precisión del método para medir la HR, la precisión de la curva de humedad en equilibrio de cada clase de semilla debe ser testada y controlada la temperatura. Estos métodos presentan algunas limitaciones prácticas. Ellos están limitados a rangos

de contenidos de humedad correspondiendo a HR por debajo de 100%, aproximadamente cerca de 0.25 g de H₂O g⁻¹ de peso húmedo en las semillas.

El método no es aplicable a semillas con alta humedad porque la HR se mantiene a 100%. La precisión es mayor en regiones donde la isoterma de absorción sea lineal. La precisión es menor en regiones muy altas o muy bajas porque un cambio en el porcentaje de humedad de la semilla resulta en un pequeño cambio en la HR en regiones lineales.

En el caso de arroz se ha desarrollado un método basado en las características higroscópicas de la semilla y la sal, llamándose este método casero, y el cual consiste en utilizar un frasco con una tapa, dos huecos para introducir los termómetros uno de los cuales tiene un pedazo de felpa la cual se humedece con una solución de cloruro de sodio, se utilizan 30 gramos de semilla, luego de un minuto se chequean los termómetros. Diferencias de + 2 a -2 a partir de cero dependiendo de la curva ya establecida de humedad se puede saber el porcentaje de humedad de la semilla.

SELECCION DEL METODO APROPIADO PARA MEDIR LA HUMEDAD

No un simple método puede adecuadamente reunir todas las necesidades de un probador de humedad en la ciencia de las semillas y la industria. Muchos factores deben ser considerados cuando se seleccione un método apropiado o equipo para este propósito. Algunos de estos factores son (i) tipo de semilla a ser probada, (ii) rangos del contenido de humedad más probables a ser encontrados, (iii) repetibilidad y precisión requerida, (iv) tiempo requerido para completar la prueba, (v) de fácil operación y requerimientos técnicos disponibles, (vi) que no destruya la muestra, (vii) portable y de peso adecuado, (viii) tamaño de la muestra requerida, y (ix) costo y disponibilidad del equipo y trabajador.

MATERIALES Y METODOS

MATERIALES

Para llevar a cabo ésta investigación se trabajó con semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) que identificaron zonas de mayor uso en Colombia y Centro América, tanto como semilla como grano. Con el fin de obtener mejor información se trabajó con dos frijoles contrastantes en tamaño y color. Se trabajó con un tipo Calima, el PVA 916 de tamaño grande y de color rojo moteado, y el otro un BAT 488 de tamaño pequeño y color negro. Este trabajo se realizó en el laboratorio de la Unidad de Semillas del CIAT.

OBTENCION DE LA MUESTRA ORIGINAL

Las semillas se cosecharon de un campo de multiplicación con un contenido de humedad inicial de 22%, se secaron al ambiente para poder definir los diferentes niveles de humedad para el ensayo. A continuación se presentan los diferentes contenidos de humedad usados en el ensayo.

CONTENIDOS DE HUMEDAD (%)

PVA 916	BAT 488
20.8	17.0
18.5	16.8
17.5	16.6
17.0	16.2
16.6	15.6
15.7	15.0
14.4	14.3
13.8	13.0
12.4	12.5
11.7	11.9
11.2	11.0

MUESTRA DE TRABAJO

Se tomaron 300 gramos de semilla para cada uno de los niveles de la muestra original, inicialmente se tomó la humedad en un equipo eléctrico el Motomco, luego se determinó la humedad en la Estufa. Cada uno de los niveles de humedad se guardó herméticamente en tarros plásticos, para conservar la humedad de la semilla durante el ensayo. Con esta muestra de trabajo se efectuaron los ensayos de la uña y sal.

En el método de la sal se usaron los mismos niveles de humedad que en la prueba de la uña y los dos tipos de semillas tamaño grande y pequeño. Se usó un frasco tipo " Mayonesa" con una capacidad de 130 gr aproximadamente y sal común de cocina.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se usó un diseño experimental completamente al azar donde cada muestra es independiente.

DESCRIPCION DE LOS METODOS

Método de la uña

El tamaño de muestra fue de 50 gramos que se obtuvieron de cada uno de los niveles ya guardados de la muestra de trabajo, esta cantidad se guardó en frascos pequeños cerrados herméticamente. Se obtuvieron los once niveles de humedad y completamente al azar se tomó de cada uno de ellos diez semilla para ser sometidas a la marca de la uña. Se tomó nuevamente la humedad en la estufa de la muestra de 50 gramos, para comparar luego con la humedad de cada una de las diez semillas.

Una vez sometida la semilla a la presión de la uña y dependiendo de si quedaba o no la marca se tomaron dos medidas: de profundidad utilizando el penetrómetro

cuyas unidades de medición se dan en 1/10 de mm y la longitud utilizando un Pie de Rey donde se utilizó la unidad de medida en 0.01 mm.

El penetrómetro es un aparato que mide la penetración o marca que queda en una superficie lisa, tiene un reloj con un dial que marca el desplazamiento y una punta de aguja que es la que permite introducirse en la marca. Luego de realizadas estas mediciones a cada una de las semillas se le determinó la humedad a la estufa para tener la comparación de la humedad real de cada semilla con la muestra de trabajo.

Método de la sal

En este método se llevaron a cabo varios ensayos preliminares que permitieron definir una metodología clara de evaluación. En primer lugar se trabajó para los dos tipos de semillas con proporciones de 1:1 a 1:10 semilla/sal con base a peso. Se seleccionaron frascos de vidrio tipo "Mayonesa" de fácil consecución en el mercado, con una capacidad de 130 gramos sin quedar completamente llenos.

Las cantidades de sal fueron desde 130 gr. a 13 gr dependiendo de la relación que se estuviera usando. Esta sal es la de uso común en la cocina, solamente se tuvo en cuenta que durante la prueba esta sal estuviera seca.

El otro factor evaluado preliminarmente fué el tiempo, se dejó la mezcla hasta por sesenta minutos haciéndose observaciones cada cinco minutos, de los cambios en la apariencia de la sal y si se pegaba o no la sal a las paredes del frasco dependiendo del contenido de humedad. Todas estas pruebas se replicaron diez veces para cada una de las proporciones y tiempo.

La metodología consistió en colocar en el frasco la semilla y sal de acuerdo a las proporciones establecidas en el ensayo, se tapó muy bien el frasco y se giro la mezcla por unos quince segundos, dejándose en reposo por el tiempo establecido

para cada una de las pruebas, pasado el tiempo se dió un giro para poder observar si la sal se pegaba o no a las paredes del frasco, todo dependería del contenido de humedad de la semilla.

Los resultados preliminares permitieron establecer que definitivamente era el contenido de humedad el que determinaba los cambios visuales que se presentaban en el frasco, como apariencia de la sal, o si se pegaba o no al frasco. Fué el 13% de humedad que se tomó como base del estudio y con el cual se determinó el punto donde la sal no se pegaba a las paredes del frasco, independiente del tiempo, y que esta es una humedad donde se asegura un almacenamiento de la semilla de frijol al menos por tres meses bajo condiciones ambientales.

Lo anterior llevó a establecer tres proporciones para la evaluación final, 5:1, 8:1, y 10:1 semilla/sal con base a volumen, con el fin de usar la tapa como medida práctica y evitar el uso de una balanza. Los frascos usados permitieron colocar 130 gr. de semilla sin quedar totalmente llenos, lo cual facilitó girar la mezcla y ver que pasaba con la sal, esto llevó a utilizar cantidades de sal de 13 gr, 16,2 gr. y 26 gr.

DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN LA ESTUFA

EQUIPOS

Estufa de temperatura constante

Esta estufa es regulada por un termostato bien aislado capaz de mantener la temperatura específica a nivel de los platillos. La capacidad calorífica debe ser tal que, después de un precalentamiento a la temperatura requerida seguida de la abertura de la estufa y de la introducción de los recipientes, la estufa alcance de nuevo dicha temperatura en 15 minutos o menos. ISTA (1985).

Recipientes

Para este proceso se utilizaron cajas de aluminio de 4 cm de diámetro para colocar un molido de 4-5 gr.

Molino

Este es un equipo que debe cumplir con ciertas características específicas como la de garantizar que la muestra no pierda humedad durante el molido, para el caso de frijol no es necesario un molido fino.

Balanza analítica

La balanza analítica debe ser capaz de pesar con rapidez y tener una aproximación de 0.001 g.

Cribas

Se requieren cribas metálicas con luz de malla de 4.00 mm.

PROCEDIMIENTO

Muestra de trabajo

Se efectuará una doble determinación sobre dos submuestras de trabajo de 4-5 gr, tomadas independientemente, las pesadas se obtendrán en gramos con tres cifras decimales.

Molido

Las semillas se molerán antes del secado. El molido se efectuará sobre una submuestra de 40 gramos antes de obtener la muestra de trabajo. En el caso del frijol se requerirá un molido grosero: por lo menos 50% del producto molido debe pasar a través de una criba con 4.00 mm de luz de malla.

Presecado

Si la humedad de la semilla es superior al 14% es obligatorio el presecado. Para efectuarlo se pesan dos submuestras, cada una de las cuales debe tener un peso suficiente para poder obtener después del presecado una muestra de 4-5 g. Estas submuestras se colocan en recipientes previamente tarados. Se procede a desecar las dos submuestras en sus recipientes hasta reducir su humedad al 14%. Esto se hace en una cabina de temperatura constante a 130 °C, durante 10-15 minutos dependiendo de la humedad. El material parcialmente secado se expone a las condiciones del laboratorio durante 2 h.

Después del presecado, las muestras se vuelven a pesar en sus recipientes para determinar la pérdida de peso. Seguidamente las dos submuestras parcialmente secadas se muelen independientemente y el producto del molido se somete al procedimiento apropiado.

Análisis de la Muestra

La muestra de trabajo de 5.0 g. se extenderá uniformemente sobre la superficie del recipiente. Se pesará el recipiente con su tapa antes y después de haberlo llenado. Se colocará rápidamente el recipiente sobre su tapa en una estufa manteniendo a 130 °C y se permitirá que la muestra seque durante 1 hora.

Cálculo de los Resultados

La cantidad de agua contenida en las semillas se calculará uniformemente en peso con una cifra decimal, aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100$$

donde: M1 = peso en gramos del recipiente y su tapa

M2 = peso en gramos del recipiente, su tapa y su contenido antes del secado

M3 = peso en gramos del recipiente, su tapadera y su contenido, después del secado.

Si el producto ha sido presecado, la cantidad de agua contenida se calculará a partir de los resultados obtenidos en la primera (presecado) y segunda fase del procedimiento. El contenido de agua inicial de la muestra en porcentaje será:

$$S1 + S2 - \frac{S1 \times S2}{100}$$

donde: S1 = el agua perdida en la primera fase

S2 = el agua perdida en la segunda fase

RESULTADOS Y DISCUSION

METODO DE LA UÑA

Los resultados obtenidos indicaron que hubo efecto significativo de la marca en función del contenido de humedad de la semilla. Es por eso que no se presentan ajustes de correlación sino los datos reales observados medidos en una análisis de dispersión.

Las variables evaluadas fueron longitud y profundidad de acuerdo a la metodología descrita, como resultado de estas mediciones se sacó el producto llamado tamaño de marca, para ser analizado en conjunto en los dos tamaños de semillas objeto de este estudio.

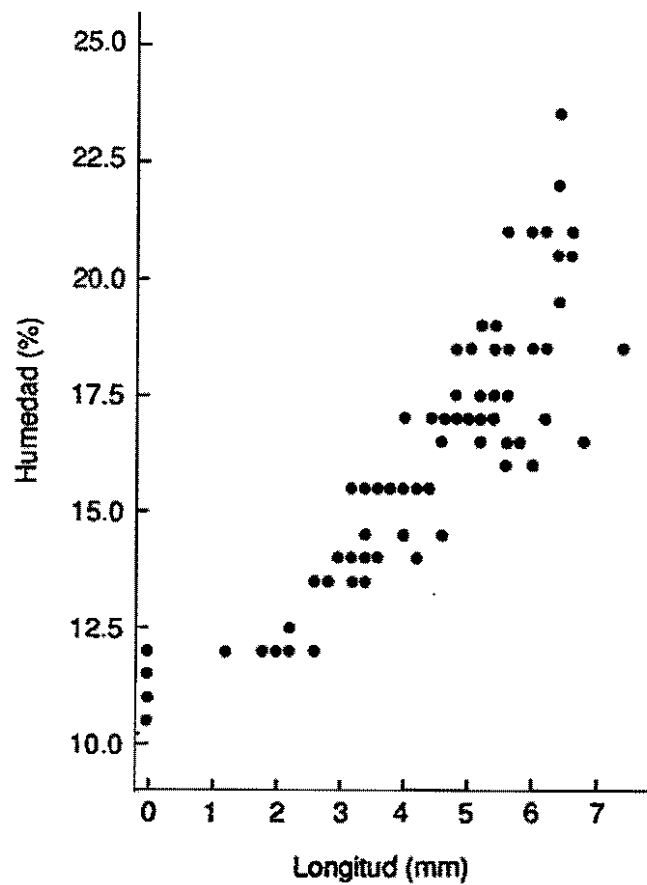
En la Figura 1. se presentan los resultados de las diez semillas marcadas completamente al azar de los niveles de humedad establecidos en el trabajo. En este caso se presentan las humedades que van desde 11.2% a 20.8% versus a la longitud de marca, se encontró que con contenidos de humedad por debajo de 12.5% no hubo presencia de marca, sin embargo pequeños arcos se observaron en algunas de las semillas, que puede ser debido a pequeños cambios de humedad en las semillas analizadas.

Longitudes de 1 a 2.5 mm son casi imperceptibles pero sin embargo alcanzan humedades del 12.5% de humedad. Longitudes por encima de 3 mm está relacionando humedades mayores a 14.5%, y según Mendoza, F. (1990) encontró semillas que el agricultor guarda para la próxima siembra por encima de 17% o más y si se observa en la Figura 1 coincide con longitudes de marca entre 4 y 6 mm, esto lleva a pensar que con algo de información al agricultor sobre esta evaluación estaría más consciente en saber si su semilla está o no seca. Los análisis indican (Apéndice I) que el coeficiente de correlación fué alto entre ..los diferentes niveles de humedad de la muestra de trabajo $r=0,9275$ y las humedades de las diez semillas marcadas $r=0.90917$ y se encontró una alta

correlación entre longitud y profundidad $r=0.93703$ y en todos los casos anteriores altamente significativa $P=0.0001$.

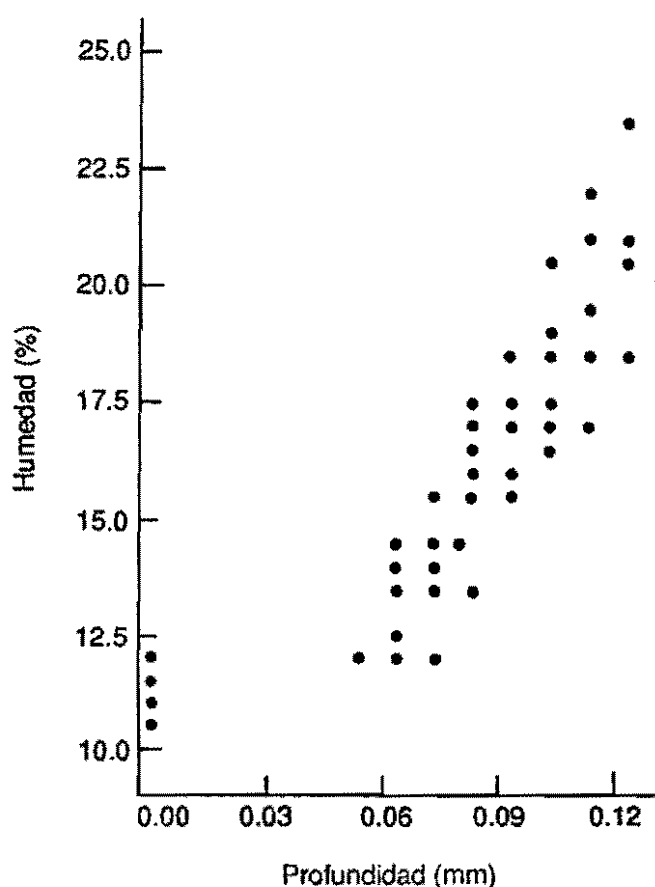
Estos resultados llevan a pensar que sí hay una buena correlación de ésta medición con la definición de si la semilla está seca o húmeda.

Figura 1. Gráfica de dispersión relacionando longitud de marca y contenido de humedad de la semilla. Semilla grande.



Los resultados de profundidad se presentan en la figura 2, se observa que con humedades por debajo de 12.5% no hay medición de profundidad con el penetrómetro, mínimas medidas se detectan de todas maneras a ese nivel de humedad 0.06 mm a 0.07 mm, humedades de más de 14% alcanzan una mayor profundidad, es interesante anotar que si se quiere almacenar semilla al ambiente por lo menos tres meses 14% puede ser una buena humedad que es lo que se está observando en la Figura 2, sin embargo el enfoque que se le ha dado al trabajo busca asegurar la calidad fisiológica a un mayor tiempo posible y es por eso que se está pensando en el 13% como mínimo para secar la semilla.

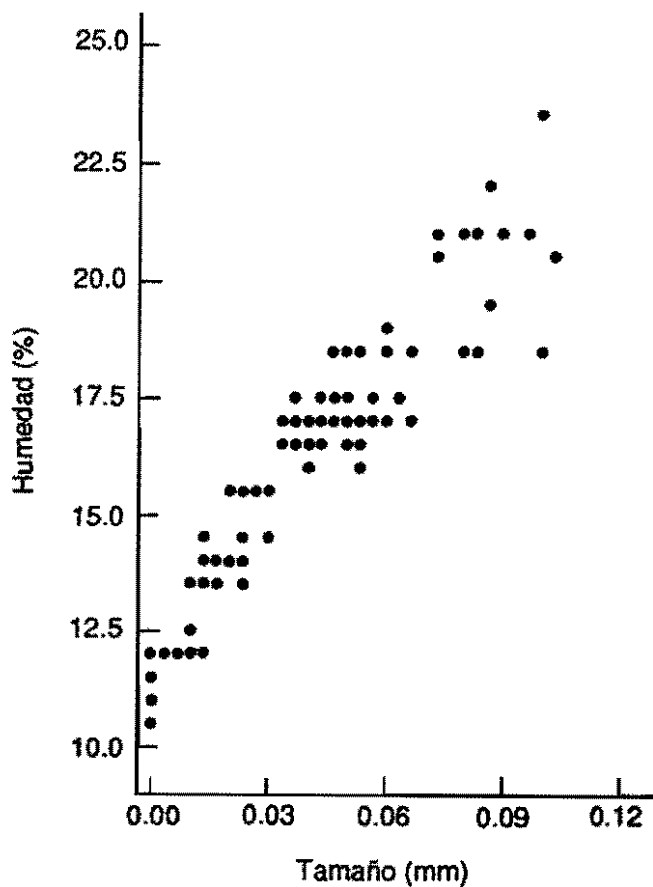
Figura 2. Gráfica de dispersión relacionando profundidad de marca y contenido de humedad de la semilla. Semilla grande.



De igual forma que la longitud con la profundidad se encontró una alta correlación con la humedad de trabajo $r = 0.88977$ y las humedades de las semillas marcadas $r = 0.86630$ y altamente significativa $P = 0.0001$.

El tamaño como medida de la relación longitud por profundidad está mostrando en la Figura 3 que semillas con humedades por debajo de 12.5%, no hay marca, es a partir de 14.5% donde se detecta mayor tamaño de marca, éste correlacionó significativamente $r = 0.94894$ con la humedad de las muestras de trabajo.

Figura 3. Gráfica de dispersión relacionando tamaño y contenido de humedad de la semilla. Semilla grande.



En la Tabla 1. se presentan los resultados de la humedad de la muestra de trabajo y de las humedades de las diez semillas marcadas con la uña durante el ensayo, humedades determinadas en la estufa, se encontró que no hubo diferencias significativas $t = 0.0025\%$ entre las humedades, lo cual hace confiable el número de semillas que se toman para hacer la evaluación.

La semilla grande permite mayor contacto con cualquier tipo de uña ya sea por forma, dureza y longitud de la misma, sin embargo la metodología aquí desarrollada permite decir que semillas con humedades por debajo de 12.5% no debe quedar marca de la uña.

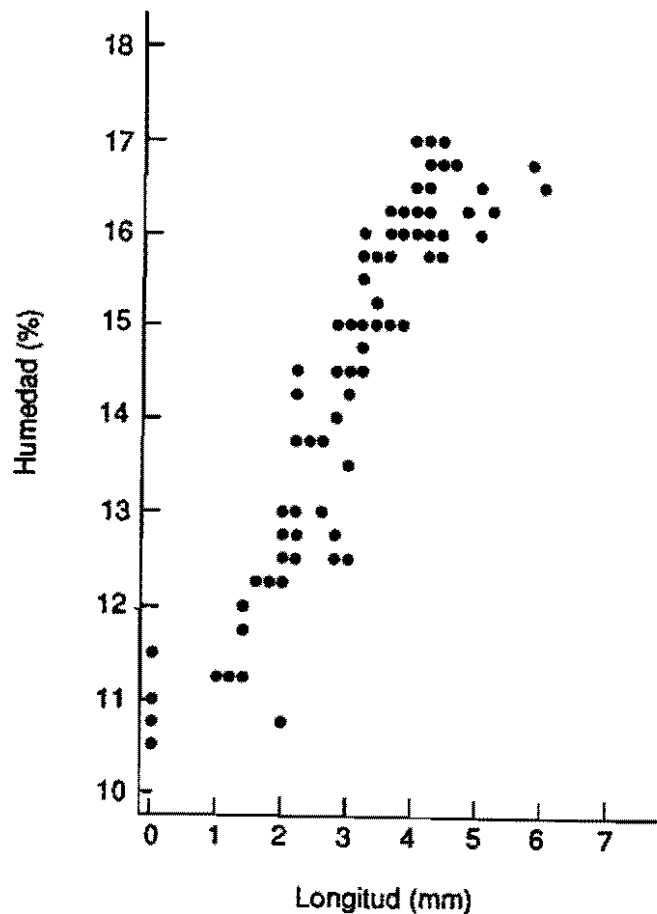
Tabla 1. Humedades de la muestra de trabajo y de las semillas marcadas con la uña.

Humedad inicial (%)	Humedad promedio (%)	Desviación estandar*
20.80	21.11	0.90
18.50	18.62	0.18
17.50	17.27	0.14
17.00	17.00	0.18
16.60	16.49	0.23
15.70	15.58	0.14
14.40	14.18	0.12
13.80	13.67	0.18
12.40	12.07	0.14
11.70	11.92	0.13
11.20	10.97	0.26

* No se encontró diferencia significativa entre las humedades inicial y promedio ($t = 0.025\%$)

Por otro lado los resultados encontrados con la semilla pequeña (Bat 477) de color negro presenta una tendencia muy similar que la semilla grande, los coeficientes de correlación al analizar la longitud muestran que hay una alta correlación cuando se comparó con el contenido de humedad de las semillas marcadas $r=0.92879$ lo mismo que con la profundidad $r=0.88463$ y altamente significativo $P=0.0001$ (Apéndice II). En la Figura 4 se ve que es a partir de 11% donde no se ve longitud de marca, se observa una medición aislada que puede ser producto de cambios en la humedad de la muestra, humedades por encima de 14.5% hay presencia de marca pero levemente, para muchos casos la marca que se presenta en la Figura 4. con un porcentaje de 15% de humedad es lo que comúnmente considera el agricultor.

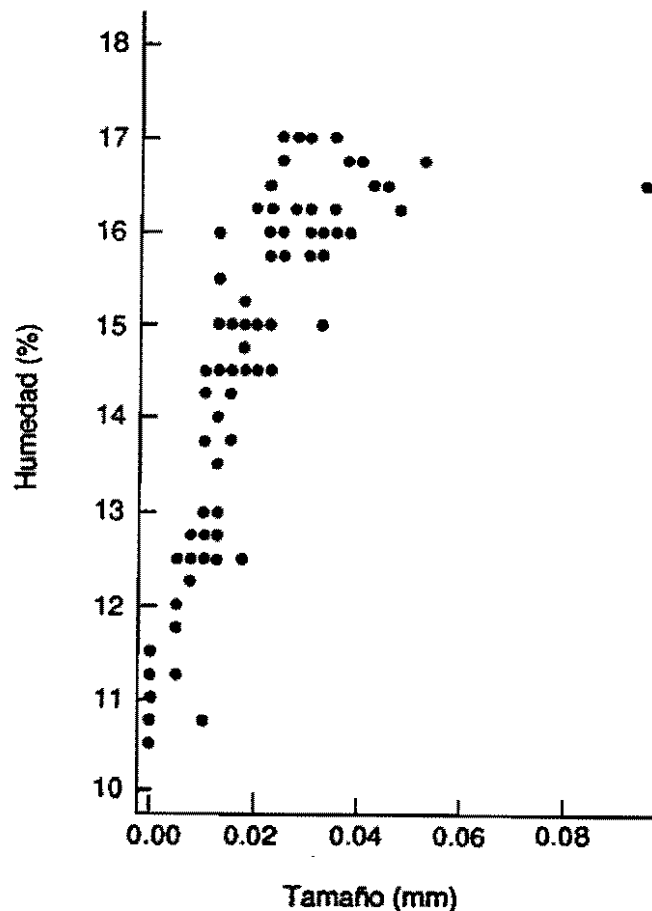
Figura 4. Gráfica de dispersión relacionando longitud de marca y contenido de humedad de las semillas. Semilla pequeña.



Al analizar el producto de longitud por profundidad, los resultados del análisis muestran que el tamaño dió una alta correlación con la humedad de la muestra de trabajo $r=0.82221$ y la humedad de las diez semillas marcadas $r=0.81606$ con una alta significancia $P=0.0001$.

En la Figura 6 se observa la misma tendencia y sigue 11.5% como la humedad donde para este tamaño se semilla no se presenta ninguna marca.

Figura 6. Gráfica de dispersión relacionando tamaño y contenido de humedad de las semillas. Semilla pequeña.



Se ve en la Figura 6 que hasta 14.5 el tamaño de marca es mínima para esta semilla, lo importante es que hay un momento en que la marca tiende a desaparecer. Es posible que en algunos lugares el agricultor no pueda secar su semilla a un 11% pero lo importante es saber que la presencia de una mínima marca le permite tener la semilla en un rango de 12% a 14% que es bueno para almacenar la semilla al ambiente por lo menos tres meses.

En la Tabla 2. se presentan los resultados de la humedad de la muestra de trabajo y la humedad de las diez semillas evaluadas, analizados los resultados no se encontró diferencias significativas $t=0.0025\%$ solo se puede ver que con humedades altas hay más posibilidad de variar la humedad entre ellas, que es lo normal dentro de una muestra producto de un lote de semillas.

Tabla 2. Comparación de la humedad inicial y el promedio de la humedad de las diez semilla marcadas con la uña. Semilla pequeña.

Humedad inicial (%)	Humedad promedio (%)	Desviación estandar*
17.00	16.54	0.51
16.80	16.39	0.29
16.60	16.17	0.21
16.20	15.91	0.24
15.60	15.32	0.32
15.00	14.62	0.20
14.30	14.02	0.33
13.00	12.68	0.23
12.50	12.64	0.16
11.90	11.43	0.31
11.00	10.68	0.15

* No se encontró diferencia significativa entre las humedades inicial y promedio ($t=0.025\%$)

En el Apéndice III y IV se presentan los niveles de humedad de las muestras de trabajo para los dos tamaños de semillas y las humedades de las diez semillas marcadas con la uña. Los análisis de desviación estándar que se presentan en las tablas 1 y 2 son el resultado de los promedios.

En los Apéndices V y VI se presentan los modelos para los dos tamaños de semillas, para estimar en función de la longitud y la profundidad cual sería el contenido de humedad de la semilla. Se observa en los dos casos la misma tendencia donde se presentan dos extremos claros, de 11.5% a 14.0% de humedad donde la marca es cero inicialmente y luego las marcas mínimas llegan hasta el 14% de humedad, valores intermedios de 14% a un 15% y de 16% en adelante la marca se vuelve obvia a la vista. Esto permite establecer un gradiente que fácilmente el agricultor puede ir familiarizándose para tener certeza de que su semilla está seca y que puede almacenar la semilla con un alto grado de seguridad y garantizar la calidad fisiológica.

De igual forma en el Apéndice VII se muestra una fotografía de las marcas hecha con la uña en la semilla grande, donde se presenta claramente un gradiente a medida que la semilla va perdiendo humedad, el agricultor que esté secando su semilla debe tomar al menos una diez semillas del lote de semilla y someterla a la marca de la uña, e ir determinando cuando la semilla está en condiciones de ser almacenada.

METODO DE LA SAL

Los resultados finales indicaron que usando las tres proporciones 5:1, 8:1, y 10:1 semilla/sal en volumen y de acuerdo al análisis de varianza no hubo diferencia significativa entre el tamaño de la semillas y la proporción de sal utilizada, en el Apéndice VIII se presentan los resultados, que muestran que es definitivamente el contenido de humedad que afecta la expresión de la sal en el frasco. Es por eso que se presentan los resultados en el Apéndice IX de la sal

liberada que es la que determinó el criterio para saber hasta cuando se podría secar la semilla, dependiendo de que la sal se pegue o no a las paredes del frasco. Para poder interpretar mejor el concepto de cuando parar de secar la semilla utilizando el método de la sal se acudió a la metodología de prueba de hipótesis para determinar si un lote de semilla está seco.

Se asume que un lote de semilla seca no permitirá que la sal quede adherida a las paredes del frasco. Si se "pesa" o se determina una proporción de sal liberada del frasco debe ser mayor o igual a una cota determinada por un margen de error por la prueba misma o por efecto del método de muestreo.

$$\begin{array}{ll}
 H_0 = \pi < \pi_0 & H_1 = \pi > \pi_0 \\
 \text{Semilla húmeda} & \text{Semilla seca}
 \end{array}$$

con π probabilidad de obtener un frasco en la prueba con sal donde se libere más del π % de la sal.

Si por ejemplo se tolera que puede quedar adherida al frasco alguna proporción por decir 4% la cota será del 96%.

$$\begin{array}{ll}
 H_0: \pi < .96 & H_1: \pi > .96 \\
 \text{Semilla húmeda} & \text{Semilla seca}
 \end{array}$$

Con $\pi > .96$ quiere decir que por lo menos un frasco no libera toda la sal se debe seguir secando con tamaño de muestra hasta de 40 frascos.

Si se tiene $\pi_0 = .90$ con una significancia del 10% para poder rechazar H_0 y aceptar H_1 se requiere un número muy alto de pruebas ($n > 38$) y como máximo se puede adherir sal en un solo frasco.

Esto implica que el método se vuelve impráctico para determinar cuando el lote de semillas está seco. Es útil para determinar; si hay que seguir secando, con el solo hecho de que algún frasco tenga alguna porción de sal adherida.

En las Figuras 7 y 8 se presentan los resultados de las tres proporciones en función del contenido de humedad que va de 11% a 16% se puede decir que para la semilla grande humedades por debajo de 13% la sal liberada es de un 100% es a partir de humedades por encima de 13% donde se aprecia trazas de sal adheridas a las paredes del frasco, ya por encima de 15% es notorio que la sal se adhiera a las paredes del frasco. Esto permite al productor de semilla de frijol decidir que debe continuar secando su semilla, en ningún momento se pretende decir que humedad tiene la semilla.

Lo mismo se puede ver en la Figura 8 del grano pequeño donde humedades por debajo de 12% no hay ningún intercambio de humedad entre semilla y sal, lo que hace que se libere toda la sal del frasco, se ve igualmente que con un 13% hay trazas de sal adheridas a la pared del frasco que en ningún momento confundirían al evaluar con humedades por encima de 14% donde se puede ver según figura 8 que hay un 50% de sal liberada, con humedades por encima de 17% y que es la humedad con la cual y con mucha frecuencia guarda el campesino su semilla.

En el Apéndice X se presenta una fotografía de los dos estados que interesan conocer para tener el criterio de cuando la semilla está o no seca, sal adherida a las paredes del frasco indican que la semilla está con contenidos de humedad por encima del 12%. Sin embargo la humedad para el caso de frijol permitido para almacenar al ambiente por tres meses como mínimo es del 14%, esto indica que se le está dando al agricultor una herramienta de bajo costo, que es repetible y al alcance en cualquier lugar.

Figura 7. Relación del contenido de humedad y la sal liberada. Semilla grande.

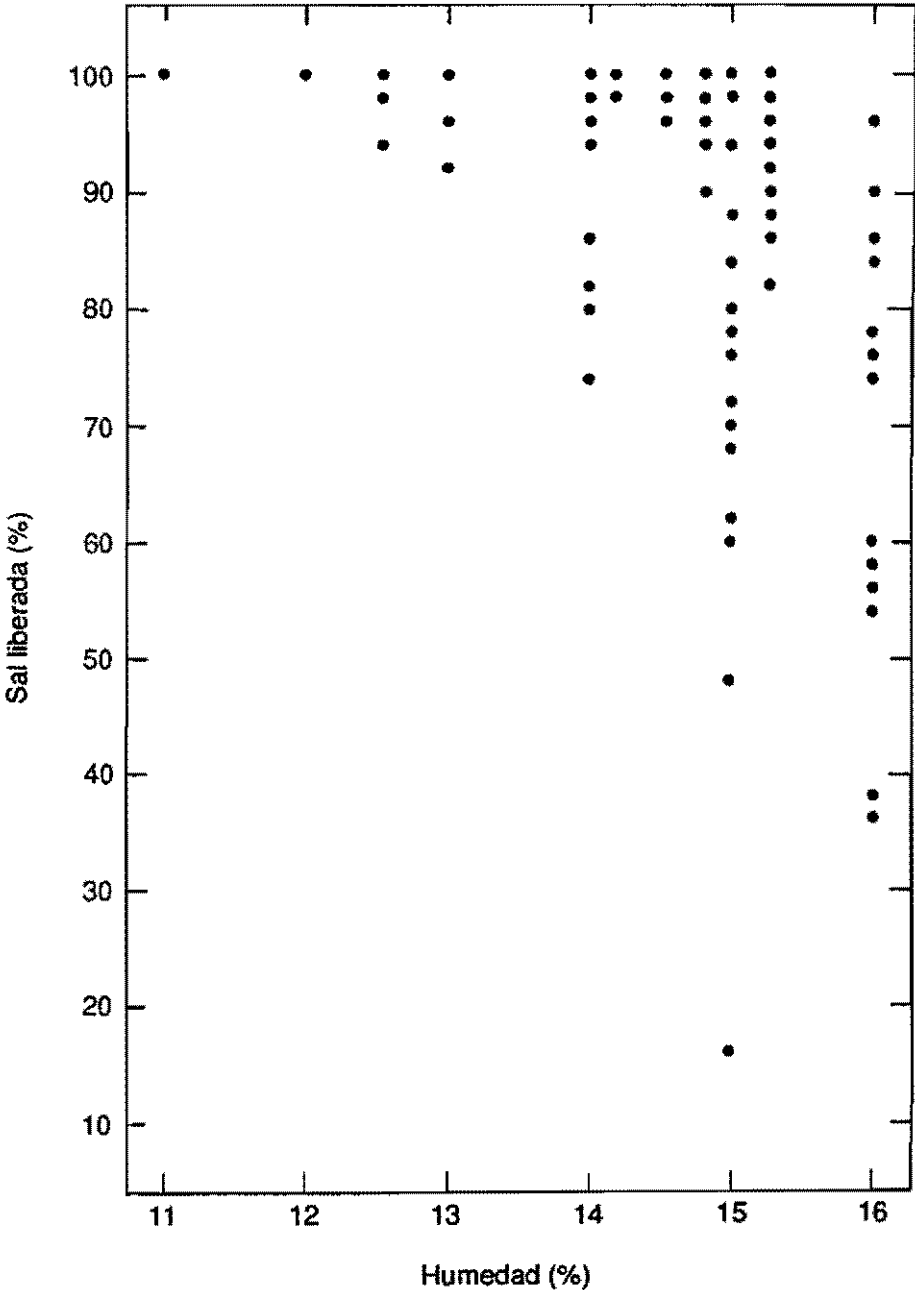
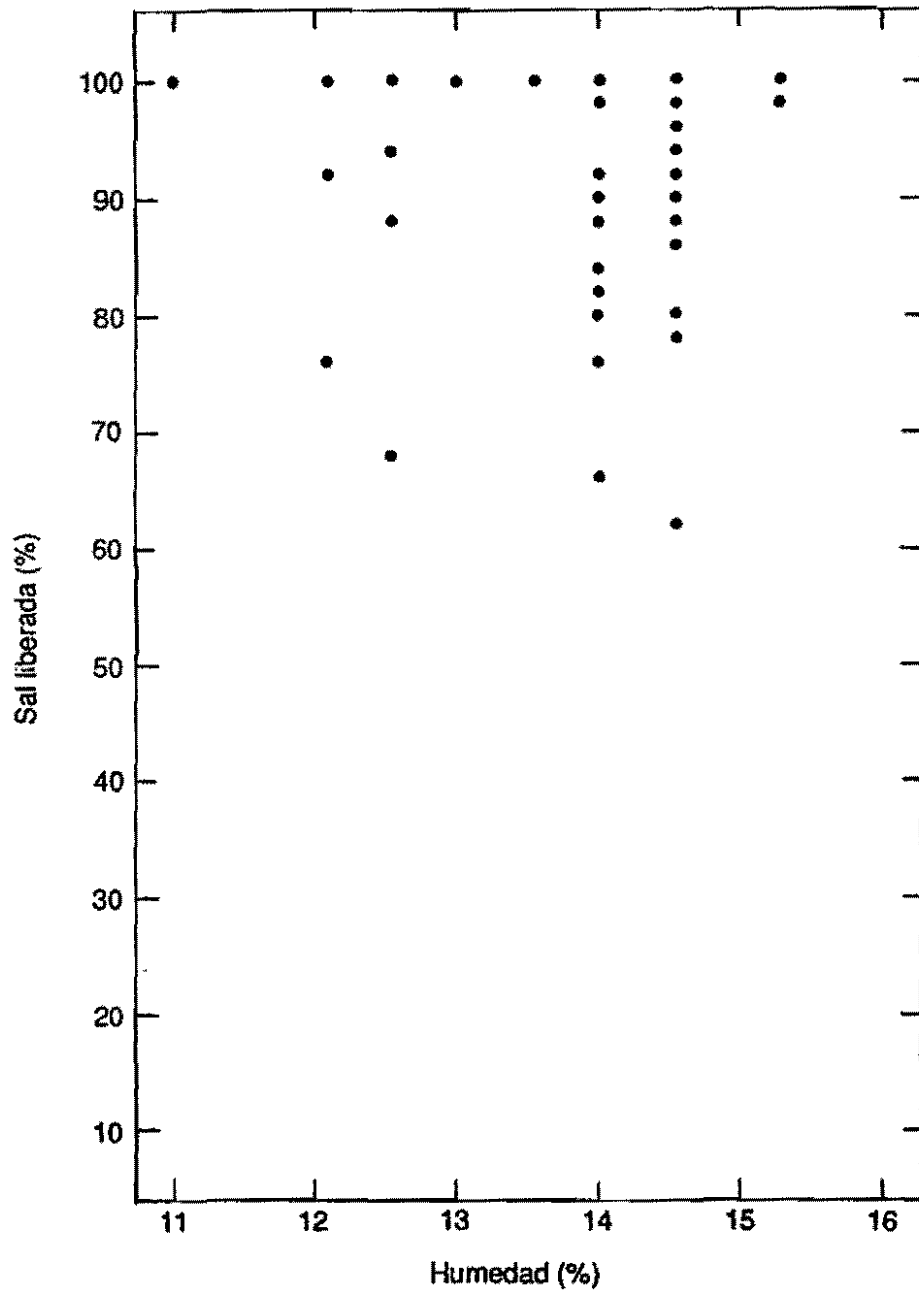


Figura 8. Relación del contenido de humedad y sal liberada. Semilla pequeña.



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que el agricultor no tiene el concepto claro de sus métodos tradicionales como uña, mordida, sonido como medida del grado de humedad que puede tener la semilla.

El ofrecer dos métodos uno físico el método de la uña y otro con uso de características higroscópicas el método de la sal, permitirá al agricultor estimar mejor la humedad de la semilla y asegurarse hasta cuando debe secar.

El método de la uña mostró que a medida que la semilla va perdiendo humedad, la marca de la uña se torna imperceptible, por eso la correlación de longitud y profundidad de marca fué muy estrecha $r=0.93703$ y altamente significativo $p=0.0001$.

Lo anterior permite concluir que humedades por debajo del 12.0% no deben presentar las semillas marca alguna lo que asegura que la semilla está seca. Marcas mínimas están relacionando humedades tolerables para almacenar la semilla al menos por tres meses.

Se recomienda tomar al menos 10 semillas del lote de semilla de frijol que se esté secando para someterlo a la marca de la uña y hacer un muestreo secuencial a través del proceso de secamiento para asegurarse que llegará un momento en que no exista marca de la uña en la semilla. En este momento se puede almacenar la semilla. Sin embargo es conveniente también tomar muestras de semilla para chequear la humedad durante el almacenamiento, ya que las condiciones ambientales van a influenciar el contenido de humedad de la semilla.

Respecto al método de la sal, se puede concluir que semilla seca no debe permitir que la sal se adhiera a las paredes del frasco.

Se recomienda proceder de la siguiente manera para realizar la prueba de la sal: tomar un frasco limpio y seco donde su tapa servirá de medida o tara; usar sal común de cocina que esté seca; colocar de 5 a 8 medidas de la semilla de frijol y de 1/2 a 1 medida de sal; tapar herméticamente el frasco; mezclar la semilla y sal por unos quince segundos y dejar por unos veinte minutos el frasco en reposo; girar la mezcla y observar que sucede en las paredes del frasco.

El análisis permitió evidenciar que es la humedad la que hace que se de el fenómeno de que la sal se pegue o no a las paredes del frasco. Apéndice VIII.

Lo anterior indica que semilla que esté por debajo de 12% permitirá que la sal no se adhiera a las paredes del frasco, tomar muestras hasta el momento en que la sal no se adhiera a las paredes del frasco e indique que no hay necesidad de seguir secando.

Con estos métodos se están presentando alternativas de bajo costo, muy confiables y repetibles que permiten al agricultor de frijol conocer la humedad de su grano y controlar así la calidad fisiológica de su semilla.

BIBLIOGRAFIA

- Delouche, J.C. 1973. Precepts of seed storage. Proceedings short course for Seedsmen. Vol. 16. Seed Technology Lab. Mississippi State University.
- _____. 1985. Physiological seed quality. Proceedings short course for Seedsmen. Vol. 27. Seed Technology Lab. Mississippi State University.
- FAO. 1985. Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha. Manual de capacitación.
- Garay, A. Aguirre, R. y Girdo, G. 1989. La dinámica de la humedad de la semilla y sus implicaciones en la producción Tropical. 21 p.
- Grabe, D.F. 1984. Report of the seed moisture committee 1980-1983. Seed Sci. Technology 12:219-226.
- _____. 1987. Report of the seed moisture committee 1983-1986. Seed Sci. Technology 15:451-462.
- _____. 1989. Measurement of seed moisture. In: Seed moisture, CSSA special publication no.14.
- Hart, J.R. and Golombic, C. 1963. Methods of moisture determination in seeds. Proc. Int. Seed Test. Assoc. 28:911-933.
- Hunt, W.H. 1965. Problems associated with moisture determination in grain and related crops. p.123-125. In: A. Wexler (ed.) Humidity and moisture measurement and control in science and industry. Vol. 2. Reinhold, New York.

Hurburgh, C.R., Jr.; Hazen, T.E.; Bern, C.J. 1985. Corn moisture measurement accuracy. Trans. ASAE 28:634-640.

International Seed Testing Association. 1931. International rules for seed testing. Proc. Int. Seed Test. Assoc. 3:333.

_____. 1985. International rules for seed testing. Seed Science & Technology 13:299-513.

Justice, O.L.; Bass, L.N. 1978. Principles and practices of seed storage USDA. Agriculture Handbook no.506. US Government Printing Office. Washington, D.C. 289 p.

Leopold, A.C.; Vertucci, C.W. 1989. Moisture as a regulator of physiological reaction in seeds. In: Seed moisture CSSA special publication no.14.

Mendoza, F. 1990. Calidad de la semilla de frijol, *Phaseolus vulgaris* (L.) sembrada por pequeños agricultores en dos Municipios del Suroccidente de Colombia. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 116 p.

Nelson, S.O. 1981. Review of factors influencing the dielectric properties of cereal grains. Cereal chem. 58:487-492.

Padua de, D.B. 1970. Basic principles in grain drying and milling. In: Rice production manual. Compiled by the University of the Philippines College of Agriculture in cooperation with the International Rice Research Institute. pp.247-254.

Paude, A. 1974. Handbook of moisture determination and control. Vol. 1, Marcel Dekker, New York.

Pimentel, M. y Miranda, P. 1978. Qualidade fisiologica das sementes de feijão, (Phaseolus vulgaris e Vigna unguiculata L Walp) no Estado de Pernambuco. Pesquisa Agropecuaria (Brasil v 2 no 1:28-36 pp.

Roberts, E.H. 1972. Viability of seed. Syracuse University Press. Syracuse, N.Y. 448p.

Sánchez, R. F. y Pinchinat, A. 1976. Bean seed quality in Costa Rica, Turrialba (Costa Rica), v. 24 no. 1: 72-75 p.

Apéndice I. Coeficientes de correlación de humedad, PHumedad, longitud, profundidad y tamaño de la semilla. Probabilidad > [R], HO: RHO = 0. Semilla grande.

	Humedad	PHumedad	Longitud	Profundidad	Tamaño
Humedad	1.00000 0.0	0.99181 0.000	0.92775 0.0001	0.88977 0.0001	0.94981 0.0001
PHumedad	0.99181 0.0001	1.00000 0.0	0.90917 0.0001	0.86630 0.0001	0.94895 0.0001
Longitud	0.92775 0.0001	0.90917 0.0001	1.0000 0.0	0.93703 0.0001	0.88785 0.0001
Profundidad	0.88977 0.0001	0.86630 0.0001	0.93703 0.0001	1.00000 0.0	0.84906 0.0001
Tamaño	0.94981 0.0001	0.94895 0.0001	0.88785 0.0001	0.84906 0.0001	1.00000 0.0

Apéndice II. Coeficientes de correlación de humedad, PHumedad, longitud, profundidad y tamaño de la semilla. Probabilidad > [R], HO: RHO = 0. Semilla pequeña.

	Humedad	PHumedad	Longitud	Profundidad	Tamaño
Humedad	1.00000 0.0	0.98688 0.000	0.92657 0.0001	0.80986 0.0001	0.82221 0.0001
PHumedad	0.98688 0.0001	1.00000 0.0	0.92879 0.0001	0.82077 0.0001	0.81606 0.0001
Longitud	0.92657 0.0001	0.92879 0.0001	1.0000 0.0	0.88463 0.0001	0.87641 0.0001
Profundidad	0.80986 0.0001	0.82077 0.0001	0.88463 0.0001	1.00000 0.0	0.78586 0.0001
Tamaño	0.82221 0.0001	0.81606 0.0001	0.87641 0.0001	0.78586 0.0001	1.00000 0.0

Apendice III. Contenido de humedad de la muestra de trabajo y de las semillas marcadas con la uña. Semilla grande.

Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)	Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)
20.8	20.5 21.1 19.5 22.2 23.4 20.8 21.2 20.9 20.7 20.8	16.6	16.6 16.6 16.4 16.1 16.8 16.2 16.5 16.3 16.6 16.8
18.5	18.6 18.3 18.6 18.6 18.7 18.7 18.9 18.4 18.9 18.5	15.7	15.6 15.7 15.4 15.5 15.7 15.7 15.7 15.5 15.3 15.7
17.5	17.2 17.3 17.3 17.0 17.3 17.2 17.5 17.5 17.2 17.2	14.4	14.1 14.3 14.3 14.4 14.2 14.2 14.1 14.1 14.1 14.0
17.0	17.2 17.0 17.0 16.9 17.1 17.0 17.3 16.9 17.0 16.6	13.8	13.9 13.7 13.4 13.5 13.5 13.8 14.0 13.6 13.6 13.7

Apéndice III. Continuación.

Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)	Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)
12.4	12.0 12.1 12.1 12.0 12.0 12.2 11.9 11.9 12.4 12.1	11.2	10.7 11.5 11.3 11.0 10.7 11.0 10.7 11.1 11.0 10.7
11.7	11.7 11.9 12.0 12.0 12.1 11.8 12.1 12.0 11.8 11.8		

* Humedad determinada en la estufa.

Apéndice IV. Contenido de humedad de la muestra de trabajo y de las semillas marcadas con la uña. Semilla pequeña.

Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)	Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)
17.0	16.9 16.5 16.9 16.8 16.7 16.7 16.3 15.1 16.6 16.9	15.6	15.1 15.9 15.1 15.1 15.6 15.1 15.1 15.2 15.9 15.1
16.8	16.3 16.2 16.0 17.0 16.3 16.2 16.8 16.2 16.6 16.3	15.0	14.5 14.6 14.6 14.3 14.5 14.5 14.5 14.8 15.0 14.9
16.6	16.3 15.9 16.1 16.0 16.0 16.1 16.7 16.2 16.3 16.1	14.3	14.0 13.6 14.4 13.8 14.3 13.7 14.4 13.7 14.5 13.8
16.2	16.5 15.9 15.8 16.0 16.1 15.7 15.7 15.7 16.0 15.7	13.0	12.7 12.7 12.7 12.3 12.9 12.9 12.8 12.7 12.2 12.9

Apéndice IV. Continuación.

Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)	Muestra de trabajo Humedad (%)	Semillas marcadas Humedad (%)
12.5	12.8 12.6 12.9 12.8 12.6 12.7 12.6 12.3 12.6 12.5	11.0	10.8 10.9 10.8 10.4 10.7 10.7 10.5 10.8 10.6 10.6
11.9	11.6 11.2 11.2 10.8 11.3 11.8 11.9 11.4 11.6 11.5		

* Humedad determinada en la estufa.

Apendice V. Contenido de humedad en semilla de frijol según la longitud y profundidad de la marca hecha con la uña. Semilla grande.

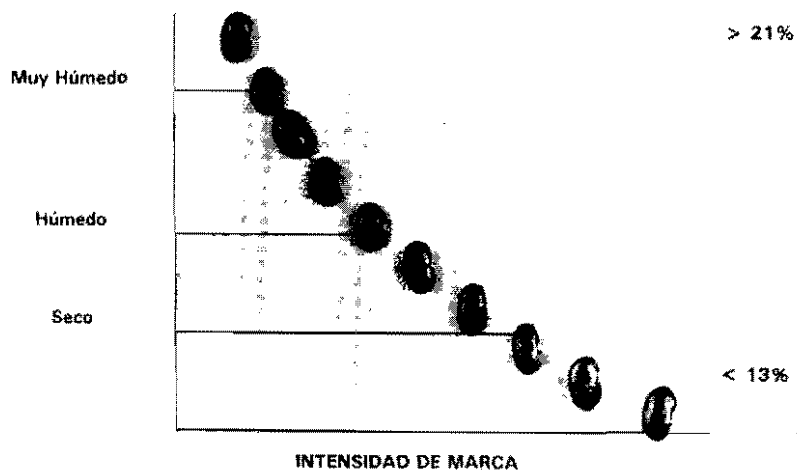
Longitud mm	Profundidad 1/10 mm												
	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	.11	.12
0.0	-	-											
0.5	11.5	11.5	11.5										
1.0	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6								
1.5		11.9	11.9	12.0	12.0	12.0	12.0						
2.0				12.4	12.5	12.5	12.6	12.6	12.6				
2.5					12.8	13.0	13.1	13.3	13.4				
3.0						13.4	13.6	13.9	14.1	14.3			
3.5							14.0	14.4	14.7	15.1	15.4		
4.0							14.3	14.8	15.3	15.8	16.2		
4.5								15.1	15.7	16.3	17.0		
5.0									16.0	16.8	17.6	18.4	
5.5									16.2	17.1	18.1	19.0	
6.0										17.3	18.4	19.5	20.7
6.5										17.4	18.6	19.9	21.2
7.0											18.7	20.2	21.7
7.5											18.7	20.3	21.9
8.0												20.3	22.0

Apendice VI. Contenido de humedad en semilla de frijol según la longitud y profundidad de la marca hecha con la uña. Semilla pequeña.

Longitud mm	Profundidad 1/10 mm												
	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.10	.11	.12
0.0	-	-											
0.5	11.3	11.3	11.4										
1.0	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1								
1.5		12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.6						
2.0				13.0	13.0	13.1	13.2	13.2	13.2				
2.5					13.8	13.8	13.9	13.8	13.6				
3.0						14.4	14.5	14.6	14.6	14.4			
3.5							15.0	15.2	15.4	15.4	15.3		
4.0							15.1	15.6	15.9	16.1	16.2		
4.5								15.7	16.2	16.6	16.9		
5.0									16.2	16.8	17.3	17.7	
5.5									16.2	16.8	17.4	18.0	
6.0										16.8	17.4	18.0	18.3
6.5										16.8	17.4	17.8	18.4
7.0											17.4	17.8	18.7
7.5											17.4	17.8	18.7
8.0												17.8	18.7

Apéndice VII.

RELACION DE LA MARCA CON UÑA
Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA SEMILLA



Apéndice VIII. Análisis de varianza mostrando las interacciones variedad, proporción y humedad.

$$\text{Logit} = \log \frac{\text{proporción sal libre}}{1 - \text{proporción sal libre}}$$

VARIABLES	G.L.	S.C.	M.S.	F.	Pr.
Variedad	1	63.84	63.84	54.95	
Humedad (variedad)	8	3951.94	493.99	425.16	
humedad lineal (variedad)	2	3176.12	1588.06	1369.0	**
humedad cuadrática (variedad)	2	677.89	338.94	292.2	*
falta de ajuste (variedad)	4	97.93	24.48	21.1	*
Proporción (variedad)	4	4.17	1.04	0.90	NS
lineal	2	2.88	1.44	1.24	NS
falta de ajuste	2	1.29	0.64	0.54	NS
Humedad x proporción (variedad)	16	41.09	2.57	2.21	0.005
No. homogéneo de pendiente (humedad x proporción x variedad)	4	7.48	1.87	1.18	NS
Desviación de pendiente (humedad x proporción x variedad)	12	33.61	2.80	2.41	**
Error	269	4373.60	1.16		

NS = No significativo al 5%

Apendice IX. Criterio de evaluación para definir si la semilla está seca o no en función de la sal liberada.

Proporción Sal/Semilla	Contenido de humedad (%)	Sal liberada (%)	Proporción Sal/Semilla	Contenido de humedad (%)	Sal liberada (%)
1.5	15.3	98.92	1.5	13.0	100
		98.46			100
		98.38			100
		98.69			100
		99.23			100
		97.73			100
		99.26			100
		98.11			100
		98.73			100
		98.75			100
1.5	14.5	99.53	1.8	15.3	98.76
		98.84			98.46
		99.38			99.20
		99.38			98.52
		99.53			99.13
		98.92			98.70
		99.37			99.32
		99.07			99.32
		99.38			99.13
		99.26			98.46
1.5	14.0	99.42	1.8	14.5	99.20
		99.80			99.20
		99.69			99.20
		99.57			98.64
		99.61			99.01
		99.65			98.83
		99.80			99.56
		99.84			99.32
		99.84			99.26
		99.53			98.89
1.5	13.5	99.80	1.8	14.0	99.32
		99.84			99.63
		99.80			99.56
		99.69			99.32
		99.73			99.26
		99.76			99.95
		99.80			99.63
		99.84			99.69
		99.88			99.63
		99.92			99.44

Apéndice IX. Continuación.

Proporción Sal/Semilla	Contenido de humedad (%)	Sal liberada (%)	Proporción Sal/Semilla	Contenido de humedad (%)	Sal liberada (%)
1.8	13.0	100 100 100 100 100 100 100 100 100 100	1.10	13.5	99.76 99.38 99.38 99.46 99.30 99.38 99.69 99.76 99.84 99.84
1.10	15.3	98.72 98.76 98.92 99.00 99.00 98.53 98.92 98.61 99.38 98.76	1.10	13.0	100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
1.10	14.5	99.38 99.46 99.30 99.15 99.23 98.76 99.23 99.30 99.76 99.30			
1.10	14.0	99.23 99.53 99.23 99.23 99.30 99.84 99.30 99.69 99.53 99.61			

Apendice X. Evaluación del método de la sal.

