

METODOLOGÍA

ARTÍCULO ORIGINAL

Metodología para evaluar la calidad termodinámica y agronómica del proceso de secado solar de semillas

Methodology to evaluate the thermodynamic and agronomic quality of the process of solar drying of seeds

Ing. Martha Isabel Moinelo-Lavastida¹, Dr.C. Yanoy Morejón-Mesa^{II}, M.Sc. Gemma Domínguez-Calvo^{II}

¹Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. La presente investigación se orientó en establecer una metodología para evaluar la calidad termodinámica y agronómica del proceso de secado solar de semillas, y para ello se consideraron los diferentes métodos y tecnologías de secado solar empleados en el manejo poscosecha de semillas. Para el establecimiento de la metodología propuesta se consideró desde el punto de vista termodinámico, la retención energética en el interior de la instalación de secado, valorándose a partir de las diferentes formas de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) la selección de los materiales más adecuados para la construcción de este tipo de instalaciones, así como el régimen de aire caliente a suministrar o aire húmedo a extraer. Entre los aspectos termodinámicos básicos considerados se observó la influencia sobre la eficiencia tecnológica del proceso del tipo y forma del colector solar, del flujo de aire y del tipo de semilla a procesar. Para el análisis agronómico se consideraron las características de calidad de las semillas, entre las que se pueden citar la calidad física de las semillas de un lote específico; la calidad fisiológica, la cual se refiere a aspectos del desempeño de la semilla (vigor y germinación); la calidad genética, la cual se relaciona con las características genéticas específicas de la variedad de semilla y la calidad sanitaria de las semillas, la cual se refiere a la presencia o ausencia de enfermedades o plagas dentro del lote de semillas.

Palabras clave: calidad, manejo poscosecha, instalación de secado, transferencia de calor.

ABSTRACT. The research was guided in establishing a methodology to evaluate the thermodynamic and agronomic quality of the process of solar drying of seeds, for it were considered the different methods and technologies of solar drying used in the postharvest handling of seeds. For the establishment of the proposed methodology was considered from the thermodynamic point of view, the energy retention inside the drying installation, being evaluated starting from the different forms of heat transfer (conduction, convection and radiation), the selection of the most appropriate materials for the construction of this type of facilities, as well as the régime of hot air to introduce or humid air to extract. Among the basic thermodynamic aspects considered, were observed the influence of the type and shape of the solar collector, the airflow and the seed type to process about the technological efficiency of the process. For the agronomic analysis were considered the quality characteristics of the seeds, among those the physical quality of the seeds of a specific sample; the physiologic quality, which refers to aspects of the performing of the seed (vigor and germination); the genetic quality, which is related to the specific genetic characteristics of the seed variety and the sanitary quality of the seeds, which refers to the presence or absence of illnesses or plagues inside the samples of seeds.

Keywords: quality, postharvest handling, drying installation, heat transfer.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las plantas, y en específico las utilizadas por el hombre para su alimentación, se reproducen mediante semillas. No obstante, en muchas ocasiones, las semillas tras su maduración y dispersión no son capaces de germinar, esto se debe fundamentalmente a condiciones ambientales desfavorables.

Bajo condiciones ambientales inadecuadas o desfavorables

las semillas pueden deteriorarse, reflejándose en la pérdida de su capacidad de germinación (viabilidad) y en el vigor de las plántulas que germinen.

Los principales factores que influyen en la preservación de las semillas son: la temperatura ambiental, el contenido en humedad, el genotipo, entre otros.

Dada la importancia de todos estos factores en el ámbito de la fisiología y tecnología de semillas, se han desarrollado diferentes protocolos para evaluar la viabilidad y vigor de las semillas, así como para lograr condiciones de almacenamiento que aseguren la preservación de las mismas (Pérez y Pita, 1999).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 1982, las semillas constituyen el elemento más importante en la solución del problema alimentario mundial y en dependencia de su calidad, se pueden incrementar los rendimientos entre un 25% y 50%. Su producción es una tarea vital y estratégica, que desempeña un importante papel en el desarrollo de los planes de producción de cualquier región o nación (FAO, 1982).

Una vez realizada la cosecha y beneficio de las semillas, corresponde al productor crear las condiciones para mantenerlas y preservarlas del ataque de plagas, animales (insectos, roedores, aves, etc.) y enfermedades a las que normalmente están expuestas durante su almacenamiento. Mientras la semilla está en el campo en proceso de formación y maduración, los daños por plagas y enfermedades pueden hasta cierto punto, compensarse debido a que la planta suele reaccionar con la aceleración de la fotosíntesis y la emisión de más hojas y frutos; pero cuando la cosecha es retirada del sustrato materno, se pierde toda esta relación y el deterioro que se produce a partir de este momento, será totalmente irreversible. De aquí la importancia de observar los procesos de formación y maduración de los frutos y las condiciones que presentan éstos al ser desprendidos de la planta madre.

Después de realizada la cosecha, las semillas almacenadas se convierten al mismo tiempo, en alimento y hábitat de los organismos nocivos. En este medio se alimentan, se reproducen y continúan su actividad destructiva durante todas sus generaciones. Esta característica puede ser aprovechada por los agricultores para manipular dicho hábitat y modificarlo de modo, que se creen condiciones difíciles para el desarrollo de los referidos organismos o agentes (FAO, 1982).

Considerando lo anteriormente planteado, es evidente que el manejo postcosecha tiene una marcada influencia en la preservación y conservación de las semillas; dado que en este eslabón de la cadena productiva intervienen una serie de procesos que determinan la calidad final del producto a almacenar, dentro de los procesos que posibilitan garantizar la calidad de las semillas, el secado es uno de los fundamentales.

El proceso de secado de semillas constituye una necesidad elemental en la conservación de la calidad de la producción. Pero para realizar un adecuado proceso de secado es necesario que el producto (grano o semilla) se seque uniformemente y esto solamente se logra proporcionando un flujo uniforme de aire seco a través del colchón de granos o semillas.

Por otro lado, es importante señalar que la semilla ha sido ratificada como el producto final de los programas de fitomejoramiento, los cuales son exitosos solamente cuando ese producto final pueda llegar y sea efectivamente utilizado por los agricultores.

A nivel mundial las semillas tienen una elevada importancia, dado que constituyen el insumo básico más importante para todos los cultivos; además, son el insumo

más económico, ya que todos los otros insumos agrícolas: agua, fertilizantes, pesticidas y herbicidas, maquinarias y mano de obra, pueden ser mucho más costosos. El retorno de todos esos otros insumos está directamente influenciado por el insumo básico, que lo constituyen las semillas. La calidad de las semillas constituye un requisito primario para alcanzar altas producciones y beneficios positivos para los agricultores. En muchos países, la producción de cultivos y el comercio de semillas son fuentes importantes de empleo rural e ingresos extranjeros (Fuentes y Sánchez, 2002).

En el 2011 el mercado mundial de semillas comerciales se valoró en 42 000 000 000 de dólares estadounidenses, y se estimó que el valor de las semillas comercializadas a nivel internacional ascendería a 8 200 000 000 de dólares estadounidenses respecto al 2010. En la década de 1960, la India demostró que la lucha contra la escasez crónica de alimentos podía ser ganada con la importación/ayuda de semillas en lugar de la importación/ayuda de alimentos. La importación a gran escala de semillas de variedades de alto rendimiento de trigos enanos desde México comenzó la revolución verde en la India (Hanson, Borlaug y Anderson, 1982).

En Cuba por la importancia que se le transfiere a la calidad de las semillas y al uso racional de las tecnologías que intervienen en el manejo postcosecha de las mismas, específicamente a las tecnologías de secado sustentadas en las fuentes renovables de energía; se establecen las políticas: Agroindustrial (184,188), la Energética (247) y la de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente (131 y 133), reflejadas en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (Lineamientos del PCC, 2011).

MÉTODOS

Fundamentos metodológicos para evaluar el proceso de secado solar en función del tipo de colector y flujo de aire extraído

Los fundamentos metodológicos se consideraron sobre la base de la determinación de los parámetros termodinámicos de la instalación de secado, los cuales son necesarios para la evaluación de los diferentes tipos de colectores y flujos de aire de extracción.

Para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación, se determinan las principales propiedades térmicas del prototipo, tomándose como referente a los secadores solares artesanales, al que se le debe variar el flujo de aire en los valores en un rango comprendido entre 0,10..0,30 m³/s, y diferentes tipos de colectores, los que pudiesen ser: colectores transparentes, negros, combinados (negro + transparente), etc. (Domínguez, 2015a y 2015b; Akpinar, 2008).

Metodologías para la determinación de las condiciones experimentales

Para definir las condiciones experimentales bajo las cuales se desarrolla la investigación se describen las particularidades

del área donde se seleccionan las semillas teniendo en cuenta, la variedad, la época del año, la humedad relativa y la ubicación geográfica del lugar; realizándose la selección de la muestra por un grupo de trabajo, empleando como criterio común, para obtención de la masa total, que las semillas no presenten daños biológicos, físicos o mecánicos en su exterior garantizando que la muestra sea homogénea y que las superficies estén limpias, sin la presencia de materias extrañas, polvo, suciedad, semillas rotas e inmaduras. La muestra se divide en cantidades iguales para cada uno de los ensayos a realizar.

Se describen además las condiciones climatológicas (temperatura ambiente, humedad relativa, la velocidad del viento y las precipitaciones) del área donde será ubicada la instalación de secado, ya que por tratarse del secado solar el proceso tecnológico puede ser afectado por estos parámetros.

Metodología para la determinación de las principales propiedades de las semillas antes y después de secar

Para la determinación de las principales propiedades de las semillas antes y después del proceso de secado se utilizan un grupo de metodologías (Morejón, 2014, Sato, 1994; Klaassen, 1983), donde se determinan: la masa, el porcentaje de pérdida de peso (pérdida de masa) y el contenido de humedad.

- **Determinación de la masa.** La masa de semillas se determina, colocando las mismas en una balanza analítica o digital. Dicho procedimiento se repite tres veces consecutivamente tomándose el valor promedio de las tres observaciones. Este procedimiento se aplica a las semillas antes y después de ser secadas.
- **Pérdida de peso o variación de masa (Ww).** Se calcula mediante la diferencia entre la masa inicial de las semillas antes y después de ser secadas.
- **Contenido de humedad.** Para determinar el contenido de humedad de las semillas se realiza un control inicial antes de comenzar el proceso de secado y luego el muestreo se realiza en periodos de una hora tomando muestras de semillas de diferentes posiciones de la cámara de secado (al menos en veinte puntos seleccionados aleatoriamente), para ello se emplea un medidor de humedad de granos.

Metodología para la evaluación termodinámica de la instalación de secado solar en estudio según el tipo de colector y el flujo de aire extraído

Para la evaluación de la instalación de secado en función del tipo de colector y del flujo de aire extraído se utilizan las expresiones matemáticas que responden a los tres principios de la transferencia de calor (Leyes de Fourier, de Stefan-Boltzmann y de Newton-Richmann) con el fin de determinar la transferencia de calor por conducción, radiación y convección, respectivamente (Faires y Simmang, 1978; Geankoplis, 1998).

Para determinar las temperaturas ambiente y en el interior de la cámara de secado, se pueden utilizar anemómetro-termómetros (brindan la posibilidad de conocer la velocidad del aire y la temperatura ambiente). Para determinar las magnitudes del área de la sección transversal de salida del aire húmedo y el

área total del colector y paredes laterales de la instalación, se emplea una cinta métrica y el grosor de la pared del colector y paredes del prototipo se obtiene con el empleo de un vernier.

Para el procesamiento estadístico de los datos se utiliza el software STATGRAPHICS Plus, versión 5.1, con el propósito de analizar la dependencia existente entre el comportamiento cinético que describen las propiedades del grano en el proceso de secado solar, bajo la influencia de dos factores: el tipo de colector y el flujo de aire.

Fundamentos teórico-metodológicos para determinar la influencia del secado solar en la calidad de las semillas

Según Osborn et. al (2011) una de las principales estrategias de la FAO en operaciones de emergencia es el suministro de semilla de calidad de los cultivos y variedades adecuados a los agricultores de manera oportuna, a fin de incrementar su seguridad en materia de semillas y su seguridad alimentaria.

Por lo antes expuesto resulta esencial considerar los aspectos técnicos y operativos de la calidad de semillas. La calidad de las semillas es crítica para la producción agropecuaria; una semilla pobre limita el potencial de rendimiento y reduce la productividad de la mano de obra del agricultor. Existen cuatro parámetros básicos a considerar para valorar las características de calidad de las semillas:

- calidad física de las semillas de un lote específico;
- calidad fisiológica, la cual se refiere a aspectos del desempeño de la semilla;
- calidad genética, la cual se relaciona a las características genéticas específicas de la variedad de semilla;
- sanidad de las semillas, la cual se refiere a la presencia o ausencia de enfermedades o plagas dentro del lote de semillas.

Cuando la semilla tiene buenas cualidades físicas, fisiológicas, sanitarias y genéticas, los agricultores tienen mayores perspectivas de producir un cultivo saludable con rendimientos mejorados. Una semilla de alta calidad es un factor muy importante para la obtención de un cultivo con buena población y un rápido desarrollo de plantas aún bajo condiciones adversas, aunque otros factores como la lluvia, las prácticas agronómicas, la fertilidad del suelo y el control de plagas también son cruciales.

Características físicas de la calidad de las semillas

Las cualidades físicas de las semillas en un lote de semillas se caracterizan por tener lo siguiente:

- **Un mínimo de semillas dañadas:** las semillas dañadas (partidas, rajadas o arrugadas) pueden no germinar y es más probable que sean atacadas por insectos y microorganismos. Es posible eliminar la mayoría de las semillas dañadas durante el procesamiento (acondicionamiento) de las semillas.
- **Una cantidad mínima de semillas de malezas o materia inerte:** las semillas de buena calidad deberían estar libres de semillas de malezas (particularmente los tipos nocivos), granza, piedras, suciedad y semillas de otros cultivos. Casi todas estas impurezas pueden ser descartadas durante el procesamiento/acondicionamiento.

- **Un mínimo de semillas enfermas:** las semillas decoloradas o manchadas son síntomas de semillas que pueden llevar microorganismos, que ya las han atacado o las atacarán cuando comiencen a crecer. La planta puede vivir y difundir la enfermedad a otras plantas.
- **Tamaño de las semillas casi uniforme:** las semillas maduras medianas y grandes tendrán generalmente mayor germinación y vigor que las semillas pequeñas e inmaduras. En el acondicionamiento (procesamiento) de un lote de semillas, las semillas más pequeñas y livianas son normalmente eliminadas.

Los parámetros de calidad física de las semillas como la uniformidad de las semillas, la magnitud del contenido de materia inerte y las semillas decoloradas pueden ser detectados examinando visualmente las muestras de semillas. Examinar detenidamente muestras de semillas es el primer paso para una mejor comprensión de la calidad de semillas suministradas al agricultor; este paso brinda la primera pero no la única oportunidad de decidir respecto a las necesidades de limpieza de las semillas.

Características fisiológicas de calidad de semillas

Entre las características fisiológicas de calidad de las semillas, la germinación y el vigor, tienen una marcada influencia, por tanto fisiológicamente se debe considerar lo siguiente:

- **Alta germinación y vigor:** El porcentaje de germinación es un indicador de la habilidad de la semilla para emerger del suelo y producir una planta en el campo bajo condiciones normales. El vigor de la semilla es su capacidad de emerger del suelo y sobrevivir bajo condiciones de campo potencialmente estresantes y crecer rápidamente bajo condiciones favorables. La pérdida de la habilidad de una semilla para germinar es el último paso (no el primer paso) en un largo proceso de deterioro (pérdida gradual de viabilidad). Una disminución en el vigor de la semilla y en otros cambios fisiológicos ocurren antes de la pérdida de germinación. Por lo tanto, una semilla con germinación aceptable puede ser baja en vigor.

La importancia de la calidad fisiológica no debe ser subestimada. Una semilla solamente puede cumplir su papel biológico si es viable. Por lo tanto, las semillas fisiológicamente uniformes de una variedad adaptada serán inútiles si son de baja germinación y vigor, o si fallan al germinar cuando son plantadas. La diferencia entre grano y semilla es que la primera puede o no germinar, mientras que la última debe germinar. Por esto la germinación, particularmente un alto porcentaje de ella, es una especificación técnica tan importante para la semilla.

Características genéticas de calidad de semillas

Las características genéticas, también juegan un papel importante en la calidad de las semillas, por ello se debe considerar lo siguiente:

- **Semillas de la misma variedad:** Dentro de las especies de cultivo como maíz, arroz o maní, existen miles de tipos distintos, los cuales son referidos como “variedades” o

“cultivares”. Las plantas de una variedad producidas por semillas presentan las mismas características, las cuales son reproducibles de una generación a la otra. La definición de un cultivar se refiere a una colección de plantas cultivadas que puede ser claramente distinguida por cualquier característica (morfológica, fisiológica, citológica, química u otras) y la cual, cuando se reproduce (sexualmente o asexualmente), mantiene sus características distintivas.

- **Adaptadas a las condiciones locales:** La duración del ciclo de crecimiento es una característica crítica particularmente en cultivos de secano para permitirles madurar mientras hay suficiente humedad para el llenado del grano. La adaptación al suelo, fertilidad, enfermedades, plagas, largo del día y régimen de humedad, son todas características importantes de una variedad de cultivo.

Las plantas crecerán adecuadamente y producirán una abundancia de semillas solo en el ambiente adecuado. Es difícil anticipar como va a responder una variedad a una zona agroecológica diferente hasta que sea realmente cultivada en ella. Por lo tanto, los ensayos de variedades son importantes al establecer las zonas de adaptación recomendadas para las variedades. En condiciones de sequía, aunque los agricultores pueden estar interesados en variedades de maduración precoz, esta no es siempre la mejor opinión. Por ejemplo, los ataques de pájaros al grano maduro de estas variedades (más que a las variedades convencionales, de mayor duración) pueden ser severos y desalentar a los agricultores a plantarlas. Sin embargo, cuando las variedades de maduración precoz deben ser cultivadas, hay ciertas variedades de algunos cultivos que son tolerantes al daño de pájaros lo cual minimiza el efecto de esta plaga, por ejemplo en arroz y sorgo. Para estas variedades, también es posible demorar la siembra de manera que la madurez de estos cultivos se corresponda con la de las variedades de maduración tardía, con el propósito de esparcir el daño de pájaros sobre todos los cultivos del área. También es importante notar que la adaptación de los cultivos tiene un límite; es equivocado pensar que una variedad puede funcionar bien bajo todas las condiciones de crecimiento.

Características adecuadas para el uso: Un cultivo debe tener propiedades organolépticas adecuadas: esto se refiere a las características de procesamiento, culinarias, color y sabor que son compatibles con las preferencias locales. Los agricultores han rechazado muchas variedades nuevas debido a un mal sabor o a factores culinarios o de procesamiento. Adicionalmente, otros aspectos además del grano comestible pueden ser importantes ya que la planta puede ser usada para otros propósitos luego de la cosecha, como los tallos para material de construcción o forraje. También, la elección de la variedad debe tener en consideración la arquitectura del cultivo adaptada a las prácticas agronómicas locales, particularmente la cosecha. Por ejemplo, las de otro modo buenas variedades enanas han sido rechazadas debido a la naturaleza agotadora de la cosecha, especialmente cuando la superficie agrícola del agricultor es grande y no hay maquinaria disponible.

Tolerancia a plagas y enfermedades: La tolerancia a plagas y enfermedades (factores bióticos) significa que una planta puede vivir con estos organismos sin pérdidas significativas de rendimiento

y calidad. Obviamente, la tolerancia a las principales enfermedades y plagas es extremadamente importante y un objetivo primordial de los fitomejoradores. La resistencia a enfermedades y plagas es definida como la absoluta resistencia al daño de estos organismos. La tolerancia y la resistencia se pueden romper con el tiempo debido a mutaciones en los parásitos o en los huéspedes. Nuevas fuentes de resistencia y tolerancia están siendo buscadas por los mejoradores de plantas. Es importante obtener información precisa sobre tolerancia a enfermedades y plagas de una variedad cuando se considera la introducción de nuevos cultivos y variedades.

Alta capacidad de rendimiento: Esto está vinculado a una gama de características de la planta, incluyendo la arquitectura de la planta, eficiencia en el uso de nutrientes, factores mencionados anteriormente, como por ejemplo la adaptación a las condiciones locales y la tolerancia a plagas y enfermedades. Altos rendimientos significan más comida e ingresos para el agricultor. Con agricultores de recursos escasos, es importante que los altos rendimientos se puedan alcanzar bajo condiciones de insumos escasos (sin o mínimos fertilizantes y pesticidas), o con el uso de enmiendas del suelo orgánicas o minerales. Sin embargo, nuevas variedades de cultivo sin evaluar no deberían ser suministradas a los agricultores. Cumplir con buenas prácticas agrícolas en términos de preparación del suelo, época de siembra, control de malezas, manejo de la fertilidad del suelo, manejo del agua y evitar pérdidas post-cosecha, son factores importantes que contribuyen a altos rendimientos.

Características sanitarias de calidad de semillas

La sanidad de las semillas se refiere a la presencia o ausencia de organismos que causan enfermedades, tales como hongos, bacterias y virus, así como plagas y animales, incluyendo nematodos e insectos. El análisis de la sanidad de las semillas puede ser llevado a cabo en laboratorios de semillas.

Asegurar la sanidad de las semillas es importante porque:

- las enfermedades inicialmente presentes en la semilla pueden ocasionar el progresivo desarrollo de las enfermedades en el campo y reducir el valor comercial del cultivo;
- lotes de semilla importados pueden introducir enfermedades o plagas dentro de regiones donde no estaban presentes.

La mejor manera de evitar la contaminación de las semillas con plagas y enfermedades es el uso de prácticas de producción de semillas adecuadas, como por ejemplo controlar las plagas y enfermedades durante el proceso de producción de semillas. Sin embargo, si una semilla es infectada por insectos, entonces puede ser fumigada. Algunas enfermedades transmitidas por semillas pueden ser controladas o suprimidas mediante tratamiento de semillas durante el procesamiento de semillas o justo antes de la siembra. El uso de productos para el tratamiento de semillas está altamente regulado a nivel nacional e internacional y debe ser manejado cuidadosamente. Se necesitan tomar precauciones especiales cuando la semilla tratada es distribuida a los agricultores.

Metodología para la realización de pruebas de germinación y vigor

La metodología planteada para la realización de pruebas de germinación y vigor se estableció a partir de la integración de

las metodologías planteadas por Aguirre y Peske (1992); CIAT (1992), y Garay (1992).

Germinación de las semillas

Para conocer el potencial de un grano como semilla es preciso efectuar una prueba de germinación. Las semillas pueden tener una excelente apariencia y estar muertas o mostrar mala apariencia y tener buena germinación y vigor. La evaluación de germinación constituye por tanto una verificación necesaria.

Cuando la semilla está seca se encuentra en estado de reposo, cuando se coloca sobre un sustrato apropiado (suelo, arena, papel de germinación), bajo condiciones apropiadas de humedad, temperatura, luz y oxígeno, la semilla que está viva germina. Así, para que la germinación ocurra, además de que el embrión este vivo y sano la semilla necesita cuatro condiciones físicas ambientales adecuadas: humedad, temperatura, aire (oxígeno), y un sustrato. En condiciones de laboratorio la germinación se simula usando diferentes sustratos como papeles de germinación, algodón, arena o tierra.

Un método sencillo para evaluar la germinación consiste en humedecer el sustrato hasta la capacidad de campo: si se utiliza suelo o arena se agrega agua al sustrato hasta que al apretarlo con la mano se forme una pelota que se puede partir con facilidad al presionarla con los dedos; si se utiliza papel se agrega 2,5 a tres veces su peso en agua. Cuando se utiliza como sustrato suelo o arena, se preparan bandejas con una capa de sustrato de 4 cm de espesor y se siembran las semillas a una profundidad de 1-2 cm, dependiendo del tamaño de la semilla. Las bandejas se ubican en un área protegidas del sol, la lluvia y los vientos fuertes y se mantiene la humedad del sustrato cubriéndolo con plástico transparente y/o por medio de riegos periódicos de acuerdo con la necesidad.

Se aconseja que las bandejas de germinación no sean de acero galvanizado, porque contienen sales de zinc tóxicas; para tal fin se pueden usar bandejas de plástico, bandejas de cartón encerado o las cápsulas de Petri cubiertas.

En condiciones normales la mayoría de las semillas de leguminosas estarán suficientemente desarrolladas para la evaluación a los 7-10 días después de la siembra. Se recomienda que las plántulas se desarrollen con luz natural indirecta para que adquieran su color verde normal. Entre las plántulas que han emergido, se diferencian las normales de las anormales para saber el porcentaje de germinación.

Otra forma de evaluar la germinación de las semillas es sembrándolas directamente en miniparcels en el suelo, donde las condiciones de estrés son similares a las condiciones de emergencia en el campo, 14 días después de la siembra se evalúa la germinación.

Se ha considerado que un lote es bueno para semilla cuando tiene una germinación superior al 80%. Semillas que germinan en forma rápida y uniforme, que generan plantitas sanas y que alcanzan niveles superiores al 90% de germinación total, se pueden considerar como semillas de alta calidad.

Una forma de medir la viabilidad de las semillas sin hacerlas germinar es utilizar la actividad bioquímica de las semillas para producir reacciones con determinadas sustancias que permitan distinguirlas de las semillas muertas.; así se ha probado

la utilización de las diversas enzimas existentes en los tejidos vivos de los embriones, siendo las enzimas deshidrogenasas las que han ofrecido los mejores resultados.

Las deshidrogenasas transfieren hidrógenos a diversas sustancias que se encuentran oxidadas, dando lugar a un proceso químico de reducción que se manifiesta por un cambio de color. Este cambio de color es una indicación de la viabilidad de los embriones. Unas de las sustancias químicas más utilizadas son las sales de tetrazolio, cloruro y bromo de 2,3, 5 trifenil tetrazolio.

Así, la prueba de tetrazolio se fundamenta en la actividad de las dehidrogenasas que son indicadores del grado de respiración de los tejidos del embrión y por tanto de su vitalidad; esta actividad se mide por la extensión, distribución, e intensidad de coloración roja que adquieren los tejidos embebidos en la solución incolora de tetrazolio que al ser reducidos por las deshidrogenasas, se convierte en trifenil formozan que tiene color rojo y que es estable y no difusible. Las semillas cuyos embriones están totalmente coloreados (coloración roja), están vivas, y aquellas en donde los embriones no lo están, están muertas indicando la falta de viabilidad o incapacidad de desarrollar plántulas normales.

Vigor de las semillas

Según reportes de la FAO, ha sido la preocupación de muchos investigadores encontrar una definición universal sobre vigor; existen muchas propuestas sin que haya sido aceptada en su totalidad una de ellas. La siguiente definición sobre vigor pretende resumir en un concepto el mayor número de variables consideradas por algunos autores sin pretender cubrir todos los componentes inmersos en la amplitud del concepto. El vigor puede considerarse como la suma de todos aquellos atributos positivos de la semilla que le permiten una germinación rápida y completa generando plántulas robustas y saludables, bajo condiciones desfavorables o sub-óptimas. La deterioración de la semilla, es la pérdida de ese vigor, y los procesos detrimentales pueden ser acelerados por un mal manejo poscosecha.

La viabilidad de las semillas, su capacidad germinativa o concretamente el vigor de ellas es influenciado por diversos factores, que actúan desde la cosecha hasta el momento de la siembra. Entre los factores más importantes que afectan el vigor de las semillas se pueden citar: condiciones climáticas, madurez de la semilla, condiciones de almacenamiento, daños mecánicos, edad de las semillas, composición genética, microorganismos, insectos, manejo inadecuado durante y después de la cosecha.

Todos los métodos utilizados para determinar el vigor de las semillas, son parámetros comparativos entre lotes. Para las pruebas de vigor han sido propuestas varias metodologías sustentadas en pruebas directas e indirectas.

Pruebas directas:

- **Stand o población final:** la capacidad de diferentes lotes de semillas de producir plántulas en condiciones de campo, y de que ellas sobrevivan hasta que se tornen en plantas autotróficas, es utilizada como índice de vigor. Las semillas se plantan, según recomendaciones para la especie objeto de estudio y se realiza un conteo, generalmente a los 21-28 días después de la siembra. Los resultados son expresados en porcentajes.

- **Peso verde medio:** las semillas son plantadas y a los 21 o 28 días después de la siembra se colocan en bolsas plásticas para evitar pérdidas de humedad y se pesan. El peso de las plantas de cada parcela o unidad de ensayo se divide por el número de plantas y, de ese modo el peso medio por planta es comparado entre lotes de semillas.
- **Prueba de frío:** se basa en someter a la semilla a factores adversos de baja temperatura (10 °C), alta humedad (60% de capacidad de campo) y exposición a agentes patogénicos. Luego del tratamiento de baja temperatura, la germinación es conducida a 3 °C.
- Pruebas indirectas
- **Primer montaje:** es realizado en la prueba normal de germinación, como índice de vigor, se basa en la premisa de que las plántulas que presentan mayor velocidad de crecimiento provienen de semillas más vigorosas.
- **Índice de vigor:** se basa en la prueba de germinación y consiste en retirar diariamente las plántulas normales que alcancen una longitud preestablecida. El índice de vigor es obtenido por la sumatoria de los productos del número de plántulas normales retiradas cada día, dividido por el número de días después de la siembra.
- **Inmersión en agua caliente:** en esta prueba, las semillas se sumergen en agua caliente por algunos segundos. Por ejemplo para la soya, se someten las semillas a 70 °C por un tiempo de 60 segundos. El tiempo de inmersión debe ser rigurosamente cronometrado. Luego del tratamiento, las semillas se someten a prueba estándar de germinación. Los lotes menos vigorosos presentan un acentuado decrecimiento de la germinación.

Materiales

Prueba de viabilidad de la semilla. Prueba de tetrazolio

- Semillas;
- Sal de tetrazolio;
- Placas de Petri y vasos de precipitado;
- Bisturí;
- Pinzas y lupa;
- Papel toalla.

Prueba de germinación: fisiología e identificación de estructuras

- Semillas;
- Sustrato (papel de germinación o algodón o arena o suelo);
- Ambiente con temperatura adecuada (20-30 °C);
- Caja o bandeja para colocación de sustrato;

Prueba de vigor

- Los necesarios para el tipo de prueba objeto de ensayo, según elección.

CONCLUSIONES

- Se estableció una metodología que permite evaluar la calidad termodinámica y agronómica del proceso de secado solar de semillas.
- Se integran de forma organizada y coherente los métodos termodinámicos y de diseño que influyen de forma directa en la calidad agronómica de las semillas procesadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE R., PESKE T. S.: Prueba de tetrazolio en “Manual para el beneficio de semillas”, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT [en línea] 1992, Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/.../SB118.D3_Beneficio_%20de_%20semillas [Consulta: 28 de septiembre de 2017].
- AKPINAR, E. K.: Mathematical modelling and experimental investigation on sun and solar drying of white mulberry. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 79(22): 23-30, 2008, ISSN 5305-1490.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT): Desarrollo y morfología de la semilla, Guía de estudio, Cali, Colombia [en línea] 1983, Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/books/historical/052.pdf [Consulta: 28 de septiembre de 2017].
- DOMÍNGUEZ CALVO, G.; MOREJÓN MESA, Y., TRAVIESO RUIZ, CH. C.: “Influencia del color y forma del colector solar en el secado de semillas de soya” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(Especial) 2015a, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- DOMÍNGUEZ CALVO, G.; MOREJÓN MESA, Y., FUENTES PÉREZ, O.: “Influencia del flujo de aire extraído en la cinética de secado de la soya” *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(4): 35-39, 2015b. ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761.
- FAIRES, V. M, SIMMANG, C. M.: *Thermodynamics*, pp. 578-600, Editorial MacMillan, USA, 1978, ISBN: 002-33-5530-1.
- FAO: Seeds. *Plant Production and protection*. Paper. No.39, Roma. 569pp. 1982. ISBN: 92-5-001226-8.
- FUENTES, V. y SÁNCHEZ, P.: La producción de semillas en los huertos caseros de las zonas occidental y central de Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional*. Vol. XXI, No 2, 225-234, 2002. ISSN: 2410-5546.
- GARAY, A. *Tecnología poscosecha para pequeñas empresas de semillas*. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia [en línea] 1992, Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/.../SB_118.C3_G57_C.2_Manual_para_el_establecimiento [Consulta: 28 de septiembre de 2017].
- GEANKOPLIS, J.: *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. University of Minnesota. Compañía editorial continental, S.A. de C.V. Tercera Edición México, 1998, ISBN: 968-26-1316-7.
- HANSON, H.; BORLAUG, N.E.; ANDERSON, R.G.: *Wheat in the Third World* Washington: National Academy. Development-Oriented Literature Series. 1982, ISBN: 0-86531-357-1.
- KLAASSEN, G.: *Seed Drying*, International course on seed Technology for vegetable crops. University of the Philippines at los Baños the Philippines [en línea] 1983, Disponible en: <https://www.cabi.org/gara/FullTextPDF/2009/20093019285.pdf> [Consulta: 28 de septiembre de 2017].
- MOREJÓN, M. Y., DOMÍNGUEZ, G., RODRÍGUEZ, Y.; LEÓN, J.: “Use of an Artisan Solar Grain Dryer to dry soybeans and black beans seeds”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 17-20, 2014, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- OSBORN, T., NAPOLITANO, G., FAJARDO, J.: *Semillas en emergencia*. Manual Técnico. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Roma, 2011, ISBN: 978-92-5-306676; ISSN: 1014-1227.
- PÉREZ GARCÍA, F. Y PITA VILLAMIL, J.M.: *Dormición de Semilla*, 20pp., Hojas Divulgadoras. Núm. 2103-HD. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid [en línea] 1999, Disponible en: www.mapama.gob.es/.../ministerio/.../hojas-divulgadoras/lista.asp [Consulta: 28 de septiembre de 2017].
- SATO, J.: *Solar Grain Dryer*. Lecture Textbooks Fourth Edition. Farm Mechanization Course. Farm Machinery Design Course. Tsukuba International Agricultural Training Centre. Japan International Cooperation Agency. Japan [en línea] 1994, Disponible en: <https://www.osaka-cu.ac.jp/en/news/2011/20110721-00> [Consulta: 28 de septiembre de 2017].
- PCC (PARTIDO COMUNISTA DE CUBA): *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución* 48pp., La Habana, Cuba [en línea] 2011, Disponible en: http://www.cubadebate.cu/wpcontent/uploads/2011/05/tabloide_debate_lineamientos.pdf [Consulta: 28 de septiembre de 2017].

Recibido: 20/11/2017.

Aprobado: 04/05/2018.

Martha Isabel Moineiro-Lavastida, Adiestrada, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, e-mail: dptoriego4@iagricu

Yanoy Morejón-Mesa, e-mail: yym@unah.edu.cu

Gemma Domínguez-Calvo, e-mail: gemma@unah.edu.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.