

Revisión bibliográfica GENERALIDADES SOBRE LAS SEMILLAS: SU PRODUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Jessica Doria[✉]

ABSTRACT. Seeds are plant sexual reproduction unit aimed to multiply and perpetuate the species to which they belong; thus, they are one of the most effective elements to be dispersed both in time and space. Seeds constitute the perennial mechanism that let plants endure from one generation to another. They are also plant moving unit. Seeds are the means by which, even in a passive way, plants find new sites and microenvironments. Every crop must take into account seed quality for its success. Seeds are the starting point for production and it is essential to have a good response under sowing conditions to release vigorous seedlings for achieving top yield. From a sustainable viewpoint, it is impossible to get a good harvest if it does not come from a quality seed, since any crop may have a lower quality than the seed sown, but it is never better than it. Undoubtedly, a good quality seed represents the quintessential strategic input that allows supporting agricultural activities, so enabling significantly to improve its production in terms of quality and profitability. Therefore, the works aimed at stimulating and extending germination and subsequent seed preservation are of great scientific and technical interest, to raise sustainable crop productivity and face environmental changes more appropriately.

RESUMEN. Las semillas son la unidad de reproducción sexual de las plantas y tienen la función de multiplicar y perpetuar la especie a la que pertenecen, siendo uno de los elementos más eficaces para que esta se disperse en tiempo y espacio. Constituyen el mecanismo de perennización por el que las plantas perduran generación tras generación. Son también la unidad móvil de la planta. Las semillas son el medio a través del cual, aún de manera pasiva, las plantas encuentran nuevos sitios y microambientes. En todo cultivo es imprescindible tener en cuenta la calidad de la semilla para su éxito. Las semillas son el punto de partida para la producción y es indispensable que tenga una buena respuesta en las condiciones de siembra y que produzca plántulas vigorosas, para alcanzar el máximo rendimiento. Desde un punto de vista sustentable, es imposible obtener una buena cosecha si no se parte de una semilla de calidad, ya que un cultivo puede resultar de una calidad inferior a la semilla sembrada, pero nunca mejor que ella. Indiscutiblemente, la semilla de buena calidad representa el insumo estratégico por excelencia que permite sustentar las actividades agrícolas, contribuyendo significativamente a mejorar su producción en términos de calidad y rentabilidad. Por tal motivo, son de gran interés científico-técnico los trabajos encaminados a estimular y prolongar la germinación y posterior conservación de las semillas, para poder elevar la productividad de los cultivos de forma sostenible y enfrentar los cambios en el entorno de manera más apropiada.

Key words: seed, germination, seed production, seed storage

Palabras clave: semillas, germinación, producción de semillas, almacenamiento de semillas

INTRODUCCIÓN

En los primeros años del siglo XIX, la gran mayoría de los agricultores dependían del abastecimiento propio de sus semillas. Concluida la II guerra mundial, se intensifica la producción agrícola e incrementa la demanda en cantidad y calidad de las semillas. En la actualidad, el mundo desarrollado ha dominado la industria semillera, por las grandes inversiones e inves-

tigaciones asociadas que demanda esta actividad, para lograr semillas de calidad con alto potencial productivo en un mercado cambiante y dinámico a nivel internacional. Estados Unidos posee casi mil instituciones especializadas relacionadas con la actividad de semillas. Otros países como Francia, Japón, Holanda, Inglaterra, Canadá e Israel poseen la mayor fuente de recursos genéticos, para la creación de nuevas variedades e híbridos y ostentan el dominio del comercio de semillas.

Hasta 1959, no existía en Cuba una producción de semilla de forma

organizada, la utilización de semillas de calidad era prácticamente nula, especialmente las producidas en el país. A partir de entonces se desarrolla la cultura semillera estatal, siendo además el inicio del primer sistema nacional organizado para esta producción especializada (1).

El desarrollo exitoso de la semilla depende de múltiples influencias en todos y cada uno de los estados de su formación. Además, su estructura está estrictamente unida a su función; por tanto, el estudio de sus características permite comprender sus posibilidades futuras de éxito (2).

Jessica Doria, Reserva Científica del departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ jessica@inca.edu.cu

GENERALIDADES SOBRE LAS SEMILLAS

Definición. La semilla es el principal órgano reproductivo de la gran mayoría de las plantas superiores terrestres y acuáticas. Ésta desempeña una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones de plantas, regeneración de los bosques y sucesión ecológica. En la naturaleza, la semilla es una fuente de alimento básico para muchos animales. También, mediante la producción agrícola, la semilla es esencial para el ser humano, cuyo alimento principal está constituido por semillas, directa o indirectamente, que sirven también de alimento para varios animales domésticos. Las semillas pueden almacenarse vivas por largos períodos, asegurándose así la preservación de especies y variedades de plantas valiosas (3).

Origen. La semilla es una unidad reproductiva compleja, característica de las plantas vasculares superiores, que se forma a partir del óvulo vegetal, generalmente después de la fertilización. Se encuentra en las plantas con flores (angiospermas) y en las gimnospermas. En las angiospermas los óvulos se desarrollan dentro de un ovario, en tanto que en las gimnospermas la estructura que los contiene es muy diferente, pues no constituye una verdadera flor; sin embargo, la estructura de las semillas de estas plantas es básicamente similar a la de flores (4). Las reservas energéticas de la semilla son: grasas, carbohidratos y a veces proteínas, que sostendrán a la futura planta durante sus primeras etapas de vida. Estas reservas, como se ha dicho, pueden encontrarse en diferentes tejidos o en el embrión mismo, lo cual está relacionado con la germinación y el desarrollo de un nuevo individuo.

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE SU TOLERANCIA A LA DESECACIÓN

Semillas ortodoxas: son tolerantes a la desecación, se dispersan y conservan luego de alcanzar un bajo porcentaje de humedad (4).

Semillas recalcitrantes: son sensibles a la desecación, se dispersan junto con los tejidos del fruto (carnoso) con altos contenidos de humedad (4).

Para que la semilla cumpla con su objetivo, es necesario que el embrión se transforme en una plántula, que sea capaz de valerse por sí misma y finalmente convertirse en una planta adulta. Todo ello comprende una serie de procesos metabólicos y morfogénéticos, cuyo resultado final es la germinación de la semilla.

La germinación es el reinicio del crecimiento del embrión, paralizado durante las fases finales de la maduración. Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividades metabólicas aceleradas y la fase inicial de la germinación consiste primariamente en la activación de los procesos por aumentos en la humedad y actividad respiratoria de la semilla (5).

La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos que incluye la respiración, síntesis proteica y movilización de reservas. A su vez, la división y el alargamiento celular en el embrión provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula. (6). Sin embargo, las semillas de muchas especies son incapaces de germinar, aun cuando presentan condiciones favorables para ello, lo cual se debe a que las semillas se encuentran en estado de latencia. Por ello, mientras no se den las condiciones adecuadas para la germinación, la semilla se encontrará en estado latente durante un tiempo variable, dependiendo de la especie, hasta que en un momento dado pierda su capacidad de germinar (6).

Fases de la germinación. Comprende tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente:

- ↗ absorción de agua por imbibición, causando su hinchamiento y ruptura final de la testa;
- ↗ inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión

↗ crecimiento y división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plúmula. En la mayoría de las semillas, el agua penetra inicialmente por el micrópilo y la primera manifestación de la germinación exitosa es la emergencia de la radícula (7).

Las fases son:

Hidratación: la absorción de agua es el primer paso para la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla. Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria.

Germinación: representa el verdadero proceso en el que se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

Crecimiento: es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria (7).

La duración de cada una de estas fases depende de ciertas propiedades de las semillas: su contenido de compuestos hidratables y la permeabilidad de las cubiertas al agua y oxígeno. Estas fases también están afectadas por las condiciones del medio, tales como el nivel de humedad, las características y composición del sustrato, la temperatura, entre otros. Otro aspecto importante es la relación de estas fases con el metabolismo de la semilla (7).

La primera fase se produce tanto en semillas vivas como muertas y, por tanto, es independiente de la actividad metabólica de la semilla. Sin embargo, en las semillas viables, su metabolismo se activa por la hidratación.

La segunda fase constituye un período de metabolismo activo previo a la germinación en las semillas viables o de inicio en las semillas muertas.

La tercera fase se produce solo en las semillas que germinan y obviamente se asocia a una fuerte actividad metabólica, que comprende el inicio del crecimiento de la plántula y movilización de las reservas (7).

En las dos primeras fases de la germinación los procesos son reversibles, a partir de la fase de crecimiento se entra en una situación fisiológica irreversible. La semilla que haya superado la fase de germinación tendrá que pasar a la de crecimiento y originar una plántula o por el contrario morir.

Desde el punto de vista puramente fisiológico, la germinación comprende cuatro fases (8):

- ☞ Imbibición de agua
- ☞ Elongación celular
- ☞ División celular
- ☞ Diferenciación de células y tejidos

Desde el punto de vista fisiobioquímico, se consideran las siguientes fases del proceso germinativo:

- ☞ Rehidratación
- ☞ Aumento de respiración
- ☞ Formación de enzimas
- ☞ Digestión enzimática de reservas
- ☞ Movilización y transporte de reservas
- ☞ Asimilación metabólica
- ☞ Crecimiento y diferenciación de tejidos

Para que la germinación ocurra, deben satisfacerse determinadas condiciones, a saber (8):

- ☞ La semilla debe ser viable
- ☞ Las condiciones ambientales para la semilla deben ser favorables: agua, temperatura, oxígeno y luz
- ☞ Las condiciones de la semilla deben ser favorables para la germinación (libre de dormancia)
- ☞ Las condiciones de sanidad deben ser satisfactorias (ausencia de agentes patógenos).

Factores que afectan la germinación. Se dividen en dos tipos (9):

Internos

Madurez de la semilla: cuando ha alcanzado su completo desarrollo tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico. La madurez morfológica se consigue cuando las distintas estructuras de las semillas se han completado,

dándose por finalizada cuando el embrión ha alcanzado su máximo desarrollo. La madurez se suele lograr sobre la misma planta; sin embargo, existen algunas especies que diseminan sus semillas antes de que se alcancen, como ocurre en las de muchas orquídeas, que presentan embriones muy rudimentarios, apenas diferenciados. Aunque la semilla sea morfológicamente madura, muchas de ellas pueden seguir siendo incapaces de germinar, porque necesitan experimentar aún una serie de transformaciones fisiológicas (9).

Viabilidad de la semilla: es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Es un período variable y depende del tipo de semilla y las condiciones de almacenamiento. Atendiendo a la longevidad de las semillas, es decir, el tiempo que estas permanecen viables, pueden haber semillas que germinan todavía después de decenas o centenas de años, con una cubierta seminal dura, como es el caso de las leguminosas. Una semilla será más longeva cuando menos activo sea su metabolismo. Esto a su vez origina una serie de productos tóxicos, que al acumularse en las semillas produce efectos letales para el embrión. Las bajas temperaturas dan lugar a un metabolismo mucho más lento, por lo que las semillas conservadas en esas condiciones viven más tiempo que a temperatura ambiente. La deshidratación también alarga la vida de la semilla, más que si se conservan a humedad normal, pero la desecación tiene sus límites, por debajo del 2-5 % en humedad se ve afectada el agua de constitución de la semilla, siendo perjudicial (9).

Externos

Humedad: la absorción de agua es el primer paso y el más importante que tiene lugar durante la germinación, porque para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea. En condiciones normales,

este potencial hídrico es menor en las semillas secas que en el medio exterior. Por ello, hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal, siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico. Aunque es necesaria el agua para la rehidratación de las semillas, un exceso de ella actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada de oxígeno al embrión (10).

Temperatura: es un factor decisivo en el proceso de germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Por ello, las semillas solo germinan dentro de un cierto margen de temperatura. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar, aunque las demás condiciones sean favorables. La temperatura mínima sería aquella por debajo de la cual la germinación no se produce, y la máxima aquella por encima de la cual se anula igualmente el proceso. La temperatura óptima, intermedia entre ambas, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible. Las semillas de especies tropicales suelen germinar mejor a temperaturas superiores a 25°C. Por otra parte, la alternancia de las temperaturas entre el día y la noche actúan positivamente sobre las etapas de la germinación, por lo que el óptimo térmico de la fase de germinación y crecimiento no tiene porqué coincidir. Así, unas temperaturas estimularían la fase de germinación y otras la de crecimiento (10).

Gases: la mayor parte de las semillas requieren para su germinación un medio suficientemente aireado, que permita una adecuada disponibilidad de O₂ y CO₂. De esta forma, el embrión obtiene la energía imprescindible para mantener sus actividades metabólicas. La mayoría de las semillas germinan bien en atmósfera

normal con 21 % de O_2 y un 0.03 % de CO_2 . Para que la germinación tenga éxito, el O_2 disuelto en el agua de imbibición debe poder llegar hasta el embrión. A veces, algunos elementos presentes en la cubierta seminal, como los compuestos fenólicos, capas de mucílago, macroesclereidas, etc. pueden obstaculizar la germinación de la semilla, porque reducen la difusión del O_2 desde el exterior hacia el embrión (10).

Metabolismo de la germinación. Los procesos metabólicos relacionados con la germinación son la respiración y movilización de las sustancias de reserva (11).

Respiración: Tres rutas respiratorias-*glucólisis*, *ciclo de las pentosas fosfato* y *ciclo de Krebs*-son funcionales en las semillas embebidas. Estas producirán una serie de compuestos intermediarios del metabolismo vegetal, así como considerables cantidades de energía y poder reductor. El objetivo principal del proceso respiratorio es la formación de ATP y pirimidín nucleótidos, necesarios para la intensa actividad metabólica que tiene lugar durante la germinación (11). La semilla seca muestra una escasa actividad respiratoria, aumentando el consumo de O_2 después de iniciada la imbibición. A partir de este momento, el proceso respiratorio de las semillas puede dividirse en cuatro fases (12):

Fase I: se caracteriza por un rápido incremento en la respiración, que generalmente se produce antes de transcurridas 12 h desde el inicio de la imbibición. El aumento en la actividad respiratoria es proporcional al incremento de la hidratación de los tejidos de la semilla. El principal sustrato utilizado en esta fase es, posiblemente, la sacarosa.

Fase II: la actividad respiratoria se estabiliza entre las 12 y 24 h desde el inicio de la imbibición. Probablemente las cubiertas seminales, que todavía permanecen intactas, limitan la entrada de O_2 . La eliminación de la testa puede acortar o anular esta fase.

Fase III: se produce un segundo incremento en la actividad respiratoria,

que se asocia a la mayor disponibilidad de O_2 , como consecuencia de la ruptura de la testa producida por la emergencia de la radícula. Otro factor que contribuye a ese aumento es la actividad de las mitocondrias, recientemente sintetizadas en las células del eje embrionario.

Fase IV: en esta última fase tiene lugar una acusada disminución de la respiración, que coincide con la desintegración de los cotiledones, después que han exportado las reservas almacenadas.

Tipos de germinación. Los cambios fisiológicos y metabólicos que se producen en las semillas, no latentes, después de la imbibición de agua, tienen como finalidad el desarrollo de la plántula. Como se ha indicado anteriormente, este proceso comienza por la radícula, que es el primer órgano que emerge a través de las cubiertas. Sin embargo, en otras semillas el crecimiento comienza por el hipocótilo. La ubicación de las sustancias de reserva en la semilla tiene una consecuencia directa en el modo de germinación. En el caso de las semillas exendospermadas, la principal función de los cotiledones es ceder los nutrientes durante el proceso de germinación, pudiendo posteriormente emerger y ser fotosintéticamente activos. En las semillas endospermadas, los nutrientes estarán disponibles para el embrión solo si los cotiledones permanecen el tiempo suficiente en la semilla en contacto con el endosperma, para absorber los nutrientes mediante su función haustorial. Las semillas, atendiendo a la posición de los cotiledones respecto a la superficie del sustrato, pueden diferenciarse en la forma de germinar. Así, se distinguen dos tipos diferentes de germinación: epigea e hipogea (9).

Epígea: los cotiledones emergen del suelo debido a un considerable crecimiento del hipocótilo (porción comprendida entre la radícula y el punto de inserción de los cotiledones). Posteriormente, en los cotiledones se diferencian los cloroplastos, transformándolos en

órganos fotosintéticos y actuando como si fueran hojas. Finalmente, comienza el desarrollo del epicótilo (porción del eje comprendida entre el punto de inserción de los cotiledones y las primeras hojas). Entre los cultivos que presentan este tipo de germinación están la cebolla y el tomate (9).

Hipogea: los cotiledones permanecen enterrados, únicamente la plúmula atraviesa el suelo. El hipocótilo es muy corto, prácticamente nulo. A continuación, el epicótilo se alarga, apareciendo las primeras hojas verdaderas, que son los primeros órganos fotosintetizadores de la plántula (9).

Inicialmente, luego de la emergencia, la plántula pasa por un estado de transición, durante el cual produce algunos asimilados, pero aún depende del desdoblamiento de las sustancias de reserva. En la medida que la plántula se fija firmemente en el suelo y gradualmente se independiza de los tejidos de reserva ya exhaustos, se completa el proceso. De este modo, cuando la plántula comienza a absorber agua y a fotosintetizar en forma completamente autónoma, es posible afirmar que ha completado el proceso de germinación y se ha establecido convirtiéndose en un organismo autótrofo.

Germinación de las semillas en el suelo. La gran diversidad de las plantas se refleja en la multitud de posibilidades del desarrollo y la temporalidad de la germinación de las semillas de diferentes especies. Existen plantas que diseminan sus semillas cuando ya han germinado en el fruto; en el otro extremo, algunas semillas que son dispersadas están provistas de una dura testa impermeable, que solo permite la germinación después de muchos meses de desgastes (13).

Cuando llegan las semillas al suelo, el recurso clave para iniciar los cambios fisiológicos que conducen a la germinación es el agua, que resulta indispensable para activar el metabolismo y crecimiento de las células vivas de los tejidos de las semillas (14). La cantidad de agua que absorbe una semilla y la velocidad

a la que lo hace no solo dependen de las características de la semilla, como la permeabilidad de sus cubiertas, composición química de sus reservas, tamaño y contenido de humedad, sino que también están determinadas por condiciones ambientales como la humedad del suelo, del aire y la temperatura (15). La germinación de las semillas con frecuencia tiene lugar en la superficie del suelo, por lo que el equilibrio entre la ganancia de humedad del suelo y su pérdida por transpiración a la atmósfera determina el momento en que la semilla se satura de humedad y comienza a germinar. Algunas veces este equilibrio mejora cuando las semillas están parcialmente enterradas en la hojarasca (16).

Importancia de la germinación. Este proceso en la semilla es vital, pues si no hay germinación no hay planta y sin planta no hay cosecha. El inicio de la vida de una planta se ve amenazada por varios inconvenientes, como son: falta o exceso de riegos, plagas, demasiada solarización o temperatura inapropiada, entre otros (17). La germinación permite facilitar el nacimiento precoz de las diferentes plantas a cultivar, el máximo rendimiento de la semilla y, por ende, de plantas útiles, la obtención de mejores frutos y mayores cosechas, evitando el deshijamiento (eliminación de plántulas por exceso). Se logra también una adaptación más rápida de la plántula al medio donde se desarrollará (17).

Latencia de las semillas. Latencia o dormición es el estado en el cual una semilla viable no germina, aunque se coloque en condiciones de humedad, temperatura y concentración de oxígeno idóneas para hacerlo (18). De ello se deduce que las semillas pueden mantener su viabilidad durante largos períodos de tiempo. Esta es una de las propiedades adaptativas más importantes que poseen los vegetales. Gracias a ello, las semillas sobreviven en condiciones desfavorables y adversas, aunque no indefinidamente (19).

Esta adaptabilidad se manifiesta de dos formas distintas, pero no excluyentes:

Las semillas no germinan porque las condiciones no son las más apropiadas para ello (latencia impuesta).

Las semillas no germinan aunque se encuentren en un ambiente favorable, al existir ciertas condiciones propias que se lo impiden (latencia innata). Este segundo mecanismo es el que, generalmente, se entiende como latencia de semillas.

La salida del estado de latencia requiere, en determinados casos, algunos estímulos ambientales, tales como luz o bajas temperaturas. En otros casos, las gruesas cubiertas seminales de las semillas constituyen una barrera impermeable al agua y a los gases o ejercen una resistencia física a la expansión de la radícula, que impide la germinación. La presencia de inhibidores de la germinación es otro de sus condicionantes.

Causas de la latencia:

- Inmadurez del embrión
- Restricciones mecánicas para el desarrollo del embrión
- Impermeabilidad de las cubiertas seminales al agua y oxígeno
- Presencia de sustancias inhibitoras en diferentes tejidos de la semilla
- Requerimientos especiales de luz y temperatura (20).

Métodos para superar la dormancia. Existen diferentes métodos, entre los que se pueden señalar (20):

Escarificación mecánica: consiste en pasar las semillas por superficies abrasivas, con el fin de causar daño en la testa sin tocar el embrión.

Tratamiento con agua caliente: consiste en sumergir las semillas en agua caliente por cinco segundos.

Escarificación ácida: consiste en sumergir las semillas en H_2SO_4 , luego lavarlas con agua corriente y dejarlas secar.

Lavado en agua corriente: algunas sustancias inhibitoras son solubles en agua y pueden ser removidas por el simple lavado de las semillas.

Secado previo: las semillas recién cosechadas pueden perder la dormancia si se secan por algunas semanas en una cámara a $40^\circ C$.

Preenfriamiento: algunas semillas pierden la dormancia someténdolas a bajas temperaturas.

Estratificación: se emplea para inducir procesos fisiológicos en el embrión que son necesarios a la germinación.

Imbibición en nitrato de potasio: algunas semillas superan la dormancia de actividad aparentemente metabólica.

Exposición a la luz: las semillas pueden requerir un determinado tratamiento de luz para poder germinar.

Tipos de latencia

Exógena: las semillas que presentan este tipo de latencia tienen un retraso en la germinación y se debe a propiedades físicas y químicas de las cubiertas seminales, por lo que se puede denominar latencia impuesta por las cubiertas seminales. En este caso, el embrión aislado puede germinar con normalidad (21).

Endógena: viene determinada por características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del propio embrión (latencia embrionaria). En este caso, el embrión es durmiente en sí mismo e incapaz de germinar incluso si es aislado de la semilla y colocado en condiciones favorables. Este tipo de latencia solo puede eliminarse cuando existan factores que provoquen cambios en las características anteriores, tales como la estratificación a ciertas temperaturas, condiciones de iluminación, administración de sustancias de crecimiento, etc. Se pueden distinguir tres tipos de latencia endógena, dependiendo de la característica que provoque tal dormición: morfológica, fisiológica y morfo-fisiológica (21).

Combinada: generalmente, en la mayoría de los casos, las semillas presentan una latencia combinada, es decir, una combinación de latencia endógena y exógena. Así, en semillas de *Tilia* (tilo), por ejemplo, la dormición fisiológica está asociada a una impermeabilidad al agua de las cubiertas seminales. En otros casos, hay una asociación entre el endocarpo duro y la latencia fisiológica, como en *Crataegus* (majuelo), *Cornus* (cornejo) y *Rosa* (rosa) (21).

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

Métodos. Los usados son diferentes dependiendo de la especie de plantas de que se trate y si la semilla es o no el producto agrícola normal. Por ejemplo, en cereales y oleaginosas la semilla es el producto agrícola normal, pero en algodón y hortalizas de fruto, la semilla es un producto secundario, obtenido habitualmente junto con el producto agrícola normal.

La multiplicación de semilla debe hacerse en zonas geográficas de clima favorable y para las cuales desarrolló la variedad. Se exige la preparación adecuada del terreno de siembra, además, que esté razonablemente aislado de otros campos del mismo cultivo, para eliminar el peligro de contaminación genética. Así mismo, se recomienda la siembra en hileras, con el fin de facilitar las operaciones de entresacamiento, que consisten en examinar cuidadosamente los campos de producción, con el objetivo de remover manualmente las plantas fuera del tipo de cultivo como las malezas (22).

Categorías de semillas

Original: es la semilla del mejorador, que reúne todas las características de la variedad en cuestión; su reproducción es responsabilidad del mejorador y del centro que patrocina la variedad (23).

Básica: desciende de la semilla original y debe cumplir los requisitos de pureza, alto porcentaje de germinación, vigor y presencia de patógenos que exigen las normas de calidad establecidas en las regulaciones vigentes; su reproducción es responsabilidad del centro que patrocina la variedad, mientras que la validación de la calidad es responsabilidad del sistema de inspección y certificación de semillas SNICS (23).

Registrada: desciende de la semilla básica y debe conservar su identidad genética así como la pureza varietal y satisfacer los requisitos de calidad del sistema de inspección y certificación de semilla; su reproducción es responsabilidad de los establecimientos provinciales de semilla pertenecientes a la Empresa Nacional de Semillas (23).

Certificada: desciende de la semilla básica o registrada, en dependencia de la capacidad de multiplicación de la variedad; debe conservar su identidad genética, pureza varietal y satisfacer las normas de calidad, pues es la que se comercializa y distribuye a los productores (23).

Requisitos que deben cumplir las áreas a utilizar en la producción de semilla

El área seleccionada debe estar libre de arvenses y de las principales plagas y enfermedades que se transmiten por el suelo y la semilla.

Se debe emplear una rotación adecuada de cultivos, de manera que la misma especie no sea sembrada en el mismo lugar con demasiada frecuencia.

Las áreas deben tener riego garantizado (24).

Conservación de semillas. Esto ha sido siempre algo habitual entre los granjeros, pero en la actualidad los propósitos se han ampliado, ya que ahora principalmente se recolectan las semillas de las especies en extinción para intentar evitar que desaparezcan definitivamente. También se recogen las semillas de especies endémicas para futuras restauraciones, ya que el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente ha reducido la abundancia y distribución de muchas especies (25). La semilla no puede conservar su capacidad de germinación de forma indefinida. El mantenimiento de su viabilidad depende mucho de las condiciones de almacenaje (26).

La semilla se debe conservar con el mínimo de humedad posible y si se ha humedecido dejarla secar en una bandeja.

El lugar de conservación debe ser fresco, la nevera es un espacio óptimo para la mayoría de semillas siempre que la bolsa esté herméticamente cerrada, en caso contrario se puede malograr.

En el recipiente se debe escribir la fecha, especie y origen de la semilla.

Factores que afectan la conservación de semillas. Entre los principales factores se encuentran la humedad y temperatura de almacenamiento, que no pueden ser considerados por separado, ya que el efecto de uno depende del otro. En relación con esto, se han realizado varias investigaciones sobre el efecto de las condiciones de almacenamiento en la longevidad de las semillas (27), los que encontraron que existe una relación inversa entre el contenido de humedad óptimo y la temperatura, es decir, que a medida que la temperatura disminuye, el contenido de humedad debe aumentar, para asegurar la longevidad de las muestras. Existen otros factores que también afectan su conservación:

Composición química de la semilla: se ha observado que la vitamina E posee un papel activo en el mantenimiento de la viabilidad durante la quiescencia, limitando la oxidación no enzimática en el almacenamiento y la germinación de la semilla (28).

La cubierta de la semilla es un órgano multifuncional, que juega un rol importante en la nutrición del embrión durante el desarrollo de las semillas y en su protección de los agentes detrimentales del ambiente luego de la maduración. Por tanto, juega un papel importante en varios aspectos, como son el intercambio gaseoso, la dormición y absorción de agua.

El intercambio de gases es importante para las semillas e influye en su comportamiento durante la conservación. Indudablemente, la respiración se afecta, pero aquellos factores involucrados en la mortalidad de semillas son mucho más complejos que solo una respiración ordinaria.

La microflora presente en las semillas también afecta su conservación. Es de esperarse que la microflora va a desarrollarse mejor en semillas con altos contenidos de humedad, resultando eventualmente en un excesivo calentamiento y crecimiento de moho, cuando las semillas se conservan en condiciones de alta humedad y temperaturas favorables al crecimiento de hongos (28).

Cosecha, secado y traslado de la cosecha destinada a semillas. Una semilla se vuelve madura cuando ha llegado a un estado en el que se puede separar de la planta sin perjudicar su germinación; existen diferentes procedimientos de separación de la semilla y el fruto que se describen a continuación:

Las semillas de cultivo de campo que producen frutos indehiscentes, como los cereales, pastos y el maíz, pueden cosecharse con una combinada, una máquina que en una sola operación corta y trilla las plantas paradas. Otras plantas que tienden a caerse se cortan, apilan o ahileran para que se sequen y curen antes de separar los frutos secos. Durante la cosecha es importante que sea tiempo seco, debido a que facilitan el secado y curado. La ocurrencia de lluvias conduce a la producción de semillas de poco vigor.

Las plantas con semillas secas y frutos dehiscentes o que se desgranar con facilidad, se cortan y se colocan en una charola o lona durante unas tres semanas para que se sequen. Para evitar pérdidas de semillas, las plantas de este grupo se deben cosechar antes de que los frutos estén completamente maduros y curar o secar antes de extraer las semillas.

Las plantas con frutos carnosos, como el tomate, pimiento y varias especies de cucurbitáceas, cuyas semillas tienden a separarse durante la maduración, aunque estén rodeadas por la pulpa del fruto. Los frutos se cosechan maduros pero en algunos casos sobremaduros. Cuando se trata de cantidades pequeñas, se abren los frutos sacando de su interior las semillas manualmente. En la cosecha comercial se utilizan máquinas maceradoras de fruto, donde se separa la pulpa y la semilla por fermentación, medios mecánicos o lavándolas a través de cribas.

Para semillas de árboles y arbustos se pueden recolectar frutos tanto secos como carnosos de árboles en pie, sacudiéndolos sobre una lona, golpeándolos con una pértiga, usando ganchos o recogiendo los a mano.

Procesamiento de semillas. Las nuevas variedades de cultivos mejorados no se convierten en un impulso importante de la agricultura, sino hasta que las semillas de tales variedades están disponibles para los agricultores, sean genéticamente puras, viables, no contengan semillas de hierbas mezcladas y existan en cantidades suficientes en la ocasión y el lugar apropiados. El beneficio de la semilla es una parte integral de la tecnología implicada en la transformación del mecanismo genético, seguido por el productor en el mejoramiento y procesamiento de la semilla. Es decir que el beneficio de la semilla abarca todos los pasos comprendidos para la preparación y el procesamiento de la semilla cosechada para su venta; preacondicionamiento, secado, limpieza, recepción y envasado, así como los diferentes sistemas para llevar a cabo cada uno de los procedimientos (29).

Las semillas se procesan para quitarles las impurezas, clasificarlas por tamaño para la siembra, superar su calidad por medio de la separación de las dañadas o deterioradas y aplicarles las sustancias del tratamiento sanitario (30). Procesar semilla incluye todos los pasos desde su preparación, una vez cosechada para el posterior almacenamiento y hasta su comercialización. Del manejo eficiente que se le dé a este proceso dependerá la calidad final de la semilla, siendo la herramienta fundamental para el incremento de la producción de alimentos a niveles satisfactorios (30).

Recepción de la cosecha: El objetivo es el pesaje, la toma de muestras y sustracción de diversos lotes de semilla sucia que llegan a las instalaciones de limpieza; los detalles de estas operaciones así como el almacenamiento de la semilla sucia son muy diversos, según la organización comercial de la producción, el número de variedades, tamaño medio de los lotes, etc. La recepción y el prealmacenamiento pueden hacerse a granel en contenedores o sacos (31). *Secado:* El exceso de humedad luego de realizada la cosecha es una de las causas principales de las pérdidas

importantes en la producción de los semilleros. De ahí que el objetivo inmediato a la cosecha sea lograr el contenido adecuado de humedad de las semillas (31).

Normalmente, la semilla proveniente de la cosecha directa contiene una humedad muy alta superior al 30 %, lo cual atenta contra su buena conservación y basta que se encuentre pocas horas embolsada o a granel para que el poder germinativo y vigor de las plántulas se vean seriamente afectados.

Limpieza de la semilla: La limpieza o clasificación constituye una etapa muy importante en la explotación de los semilleros y tiene por finalidad eliminar en su totalidad las impurezas que acompañan a los lotes de semillas provenientes de los campos, uniformando y elevando su calidad, independientemente de sus características genéticas. En este proceso se entiende por impurezas no solamente las semillas de malezas o cultivos contaminantes, sino también las semillas anormales del propio cultivo (pequeñas, chuzas, quebradas, enfermas), así como granzas, pajas, restos vegetales, insectos, tierra, arena, etc. (32). *Envasado:* Cuando todos los posibles materiales inertes y semillas de hierbas u otros cultivos han sido removidos, las semillas están listas para envasarse. Algunas veces se aplica un tratamiento de fungicida o insecticida antes de ser envasadas. Las semillas pueden enseguida envasarse directamente a otras compañías de semillas o ser conservadas en el almacén hasta que se necesiten.

Las semillas de plantas de cultivo que se producen, limpian y venden en grandes volúmenes, se envasan al final de la cadena de limpieza. La semilla generalmente tratada se acumula en un silo-tolva, colocado sobre una balanza automática de la que cuelga un saco de papel; una vez vaciada en el saco la cantidad correspondiente al peso elegido, el saco se suelta y cae en una cinta transportadora que lo conduce hasta la cosedora manual (33).

ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS

Cuando se han finalizado las operaciones para la extracción y el secado de las semillas, es necesario mantenerlas en las mejores condiciones, con el fin de asegurar al máximo su poder germinativo y otros parámetros de calidad. Las semillas almacenadas constituyen un medio de producción de primera importancia en los programas de cultivo de plantas de un país y representan un vínculo esencial para las generaciones sucesivas. En el comercio las reservas de semillas representan una importante proporción del activo de los productores (34).

Los problemas asociados a la viabilidad de semillas antes de la cosecha revisten gran importancia para los productores de semillas, agricultores, agrónomos y horticultores, pero mantener esa viabilidad durante el almacenamiento por períodos relativamente largos, de uno a dos años, concierne más a los productores de semilla. Sin embargo, cuando son períodos muchos mayores y con materiales de alto interés y valor genético, son de relevante importancia para los mejoradores, a quienes no sólo les disminuyen los costos de mantener los genotipos de poco uso, sino que les permita disminuir riesgos en la integridad genética de los materiales promisorios (34).

El almacenamiento de semillas recalcitrantes resulta muy difícil, pues es indispensable mantenerlas en un ambiente húmedo para evitar su desecación, a pesar de los consiguientes riesgos de germinación y desarrollo de microorganismos, y a una temperatura lo suficientemente baja para impedir la germinación o reducir el desarrollo de plántulas, pero lo suficientemente cálida como para evitar daños por frío, pues estas semillas son sensibles a las bajas temperaturas (32).

OBJETIVOS DEL ALMACENAMIENTO

Las razones por las cuales se deben guardar las semillas son múltiples: las más simples son las de preservarlas por un corto período, desde su cosecha hasta la próxima siembra, y hay otras de orden técnico, como es el caso de los materiales de alto valor genético o el de las semillas que presentan latencia y se desea que esta no se rompa naturalmente durante el almacenamiento. También pueden ser de orden económico, como cuando existe la saturación en el mercado con algún tipo de semilla específico y se quiere esperar el momento oportuno para su venta o simplemente alguna razón legal o sanitaria que impida su comercialización inmediata y se deba esperar el próximo ciclo de siembra. Independientemente de las razones señaladas, el objetivo primordial del almacenamiento es mantener las semillas viables en buena condición física y fisiológica, desde su cosecha hasta la próxima siembra, para lograr una germinación satisfactoria y posterior emergencia. Para que un programa de almacenamiento sea exitoso, deberá ser cuidadosamente planificado y tener un concepto claro del propósito del almacenamiento, los factores que determinan la calidad de la semilla y procesos que en ella ocurren después de su madurez fisiológica. También hay que considerar los datos climáticos de la zona seleccionada para el almacenamiento y realizar un cuidadoso análisis de las necesidades específicas de las semillas a guardar y finalmente, de ser posible, tener conocimientos básicos de ingeniería ambiental (35).

EL ALMACENAMIENTO ADECUADO SE LOGRA DE DOS MANERAS

1. Ubicándolo en un área geográfica donde las condiciones climáticas sean favorables, con lo cual solo bastaría secar las semillas y llevar su contenido de humedad a un

nivel de equilibrio con el ambiente que la rodea, luego empacarlas para evitar cualquier tipo de contaminación o absorción de humedad.

2. Controlando los factores ambientales que las rodean, como son los métodos de almacenamiento de semilla. Existen diferentes tipos, entre los que se destacan (36):

Abierto (sin control de humedad ni temperatura): las semillas pueden almacenarse en forma de capas delgadas, bien ventiladas, protegidas contra pájaros y roedores, y cubierta de las lluvias; es posible aplicar en climas frescos y secos o con semillas de cubierta dura, siempre que estas hayan sido secadas. Este tipo de almacenamiento puede no ser el más adecuado, pero es el más económico. *En seco con control de humedad:* supera a la técnica anterior, ya que las semillas que han sido secadas pueden almacenarse en bolsas selladas o recipientes herméticos, que aseguran minimizar las fluctuaciones de humedad. El almacenamiento puede extenderse cuando se proporcionen temperaturas frescas pero no controladas.

En seco con control de humedad y temperatura: se aplica habitualmente a muchas especies ortodoxas que, aunque producen la semilla con periodicidad, se plantan anualmente en proyectos de forestación a gran escala. En muchas de estas especies la combinación de un control de humedad entre 4 y 8 % a una temperatura entre 0 y 5°C mantiene la viabilidad durante varios años.

En húmedo sin control de humedad ni temperatura: es un procedimiento adecuado para almacenar semillas recalcitrantes durante unos pocos meses. Pueden almacenarse las semillas en capas delgadas colocadas directamente sobre el suelo, bajo techos o tinglados bien ventilados, comúnmente cubiertas o mezcladas con hojas, arena, turba o una mezcla de ambas cosas. Las semillas almacenadas a la intemperie se mantienen húmedas por la lluvia, pero es posible que haya que humedecer periódicamente las que están bajo techo.

El objetivo de este tipo de almacenamiento es mantener las condiciones húmedas y frescas con buena ventilación. *En frío-húmedo*: se logra un mantenimiento controlado de las bajas temperaturas, algo por encima de la temperatura de congelación; además, se colocan las semillas en recipientes que mantengan la humedad o se mezclan con algún material que retenga la humedad, como por ejemplo la arena, turba o una mezcla de ambas cosas, humedeciéndolas de manera periódica. Las semillas recalcitrantes podrán ser almacenadas de esta manera, pero solo por poco tiempo y con presencia de oxígeno, ya que las semillas continúan respirando.

ANÁLISIS DE CALIDAD DE LAS SEMILLAS

Está dada fundamentalmente por su capacidad para germinar y producir una planta normal y determinada por un complejo de condiciones, que son el producto de las interacciones más favorables entre las posibilidades genéticas de la especie y el medio en el cual las semillas se producen, cosechan, procesan y almacenan. Así, las semillas almacenadas requieren de ciertas condiciones, que de no estar presentes pueden hacer perder la viabilidad y disminuir la germinación ulterior de la semilla cosechada. Es conocido que los factores que en estrecha interrelación pueden conducir al deterioro, la pérdida del vigor y viabilidad total o parcial son: la temperatura, humedad, presión de oxígeno, bacterias, hongos, insectos y roedores (37, 38).

La obtención de semillas de alta calidad juega un papel determinante en el rendimiento final del cultivo. Este hecho ha llevado a que los gobiernos en la región presten una atención especial al desarrollo de esta actividad dentro del sector agrícola. En Cuba, existe un programa nacional de producción de semillas dirigido por el Ministerio de la Agricultura, asesorado y con la participación de instituciones científicas, las cuales

se vinculan al objetivo de la obtención de semillas de máxima calidad.

Las propiedades que deben reunir los lotes de semilla de calidad son (39):

- ❖ Genuidad: el lote de semillas debe responder a la especie y cultivar deseados
- ❖ Pureza: estar libre de semillas extrañas, semillas de malezas u otros cultivos o especies.
- ❖ Limpieza: las semillas deben estar libres de materias extrañas, como palillos o tierra.
- ❖ Sanidad: estar libre de plagas y enfermedades.
- ❖ Viabilidad: las semillas deben ser capaces de germinar y desarrollar una plántula normal en condiciones óptimas de siembra.
- ❖ Vigor: es la habilidad o característica que posee la semilla de producir plantas sanas y eficientes.

Análisis de calidad antes y durante el almacenamiento: Se debe realizar un análisis completo a cada lote de semillas inmediatamente después del término de su procesamiento y previo a su almacenamiento. Posteriormente, deberán realizarse de modo periódico nuevos análisis, para determinar su comportamiento durante el almacenamiento y obligatoriamente antes de enviarla al vivero para su siembra. La determinación del contenido de humedad de las semillas al término del procesamiento es esencial para determinar si es necesario acondicionarla previamente al almacenamiento.

Tratamiento antes de la siembra: Antes de ser sembradas, algunas requieren cierta preparación. Este tratamiento puede bien ser la escarificación o estratificación, el mojado o lavado con agua fría o tibia. El mojado de las semillas es, por lo general, realizado remojándolas en agua tibia durante 24 a 48 horas. El lavado de semillas es muy común en el caso de frutas, ya que la carne de la fruta que rodea la semilla puede ser rápidamente atacada por insectos o plagas. Para limpiar la semilla, por lo general se frota la semilla con un trozo de papel y a veces se procede al lavado de la semilla. Por lo general, el lavado

de semillas se realiza sumergiéndolas durante unos 20 min en agua a una temperatura de 50°C. El agua tibia a caliente mata los microorganismos que pudieran haber sobrevivido en la superficie de la semilla. La limpieza con agua a altas temperaturas es muy importante en las semillas de frutas tropicales que pueden ser infectadas con facilidad (39).

FACTORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIÓTICOS QUE AFECTAN LA CALIDAD

- a) Físicos: Los más importantes a considerar durante el almacenamiento son la humedad de equilibrio de la semilla, humedad relativa y temperatura de almacenamiento que la rodean, ya que estos dos son los que inciden principalmente sobre su contenido de humedad (40).

Humedad de equilibrio y relativa del aire

Conocer cuáles son los mecanismos de transferencia entre las semillas y el aire que las rodea es de vital importancia, pues ayuda a tomar decisiones sobre las operaciones de almacenamiento. Las semillas son higroscópicas y absorben o liberan humedad, dependiendo del ambiente donde se les coloque y su contenido de humedad final se estabiliza cuando estas se exponen a un ambiente específico por un período de tiempo determinado, lo cual se conoce como humedad de equilibrio. Esta depende del tipo de semillas, la temperatura y humedad relativa (HR) del aire circundante. Si el contenido de humedad de la semilla es alto, mayor que el de la humedad de equilibrio para un ambiente dado, la semilla liberará humedad al ambiente; si por el contrario es menor, entonces absorberá humedad del aire. Está demostrado que cuando la HR del aire supera el 75 %, el contenido de humedad de las semillas se incrementa rápidamente; en cambio, en climas secos donde la HR no sobrepasa ese límite, sus cambios afectan poco el contenido de humedad de las semillas (41).

Temperatura

El contenido de humedad de la semilla también se incrementa cuando aumenta la temperatura, siempre y cuando la HR permanezca estable. Pero cuando la temperatura del aire se calienta, las semillas disminuirán su humedad de equilibrio: por ejemplo, las semillas de arroz en una HR de 70 % y temperatura de 15°C tendrán una humedad de equilibrio de 13,8 %, pero si se aumenta la temperatura a 25°C a la misma HR, la capacidad de retención de agua de ese ambiente también aumenta y la humedad de equilibrio de la semilla en ese ambiente disminuye a 13,3 %. No obstante, hay que señalar que la temperatura y HR actúan en forma independiente; por tanto, si una aumenta hay que disminuir la otra (41).

b) Químicos: Entre ellos el oxígeno y dióxido de carbono influyen fuertemente en los granos y las semillas almacenados, lo que está relacionado con el volumen y la porosidad de las semillas almacenadas, así como los procesos de respiración. Como se señala anteriormente, las semillas son organismos conformados por células vivas, que respiran para producir la energía necesaria para los diversos procesos metabólicos (42).

c) Bióticos: Finalmente, los insectos y microorganismos pueden causar serios problemas, cuando se encuentran asociados a la masa de semillas, llegando inclusive a ocasionar serios problemas al valor agrícola y comercial de estas. La presencia de hongos, bacterias e insectos, y sus ciclos reproductivos están muy vinculados con la HR y temperatura del almacén. En países tropicales, donde las condiciones ambientales de temperatura y HR son siempre altas y continuas, se favorece la presencia de plagas y microorganismos. Por tanto, para un buen almacenamiento es imprescindible mantener bajo el contenido de humedad de los granos y las semillas (43).

Además de los factores previamente señalados, también se debe

considerar otros que de alguna manera inciden en el almacenamiento de semillas, como son:

d) Características genéticas de la especie almacenada: en iguales condiciones de almacenamiento, la longevidad de las semillas varía entre especies, cultivares de una misma especie, lotes y hasta entre individuos de un mismo lote. Los cereales, la avena y cebada tienen alto potencial de almacenamiento; el maíz y trigo tienen longevidad intermedia, mientras que el centeno se considera de vida corta. Así mismo, el maíz dulce tiene mayores problemas de almacenamiento que el maíz blanco o amarillo (44).

e) Historia precosecha del cultivo: antes de la cosecha, el cultivo está expuesto a una serie de factores que pueden mermar su calidad y ningún almacenamiento por muy bueno que sea puede mejorarla. Por ello, para garantizar un buen almacenamiento, es recomendable guardar siempre semillas maduras, con baja incidencia de daños mecánicos o patógenos y que no hayan sido sometidas a excesivo estrés de temperatura y humedad durante su maduración y cosecha (44).

f) Estructura y composición química de la semilla: ciertas estructuras como las glumas en los cereales, ayudan a prolongar la longevidad de las semillas; las cáscaras, aristas o ambas, parecen tener un efecto inhibitorio sobre el desarrollo de hongos en los cereales almacenados; el tamaño y arreglo de las estructuras esenciales de las semillas y la composición química de estas, también son factores que afectan el almacenamiento. Por ejemplo, semillas ricas en aceites y proteínas son más susceptibles al deterioro que las semillas ricas en carbohidratos (45).

g) Grado de madurez: cuando las semillas están fisiológicamente maduras presentan la máxima calidad en todos sus atributos como tamaño, peso, germinación y vigor, por lo tanto semillas llenas, sanas y maduras se almacenan

mejor que aquellas que no hayan alcanzado su total grado de madurez (45).

h) Presencia de latencia: muchas semillas pueden desarrollar cierto grado de latencia cercano al momento de la cosecha. Esta latencia puede ser debida a diversas causas, como barreras físicas causadas por tegumentos, brácteas, glumas, pericarpio, testa u otra estructura; o bien por aspectos fisiológicos relacionados con el embrión, por presencia de inhibidores o como sucede en muchos casos, una combinación de factores. En cualquiera de estas expresiones, la latencia ayuda a prolongar la vida de las semillas y de acuerdo a las temperaturas de almacenamiento, este fenómeno puede aumentar o desaparecer (45).

i) Vigor: el vigor de las semillas es un factor determinante en la longevidad de estas durante el almacenamiento. A mayor vigor, mayor potencialidad de permanecer almacenados (45, 46).

j) Daños mecánicos: los daños mecánicos en las semillas son producto del uso excesivo y/o inadecuado de maquinarias, que no solo producen magulladuras y abrasiones que se manifiestan por un rápido descenso y pérdidas de vigor, dando origen a plántulas débiles y anormales, sino que hacen a las semillas más vulnerables a infecciones secundarias por hongos e insectos, provocando un rápido deterioro del material (47).

REFERENCIAS

1. Chailloux, M.; Hernández, G.; Faure, B. y Caballero, R. Producción de frijol en Cuba: situación actual y perspectiva inmediata. *Agronomía Mesoamericana*, 1996, vol. 7, no. 2, p. 98-107. [Consultado: 25/11/2008]. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/rev_meso/v07n02_098.pdf>.
2. Peretti, A. Manual para Análisis de Semillas. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur S.A, 1994. 281 p. ISBN: 950-504-526-3.

3. Paredes, C. H. Bioquímica de la germinación. [en línea] Monografías.com. Agricultura y ganadería, 2007. Consultado: 1/12/2008. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos59/bioquimicagerminacion/bioquimica-germinacion2.shtml>>.
4. Camacho, F. Dormición de semillas: causas y tratamientos. México, DF: Editorial Trillas, 1994. 128 p.
5. Obregón, P. La germinación. [en línea] Monografías.com. Agricultura y ganadería, 2007. Consultado: 14/01/2009. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos70/germinacion/germinacion.shtml>>.
6. Chong, C. y Bible, B. B. y Hak-Yoon Ju. Germination and emergence. [online] En: M. Pessarakli (Ed.). Handbook of plant and crop physiology. 2a. ed. [online] New York: Marcel Dekker Inc, 2002. p. 85-146. ISBN: 0-8247-0546-7 [Consultado 20/11/2008]. Disponible en: <<http://www.google.com/books>>.
7. Koornneef, M.; Bentsink, L. y Hilhorst, H. Seed dormancy and germination. Current Opinion. *Plant Biol.*, 2002, vol. 5, p. 33-36.
8. Baskin, C. C. y Baskin, J. M. Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press, 2001, 666 p.
9. Alzugaray, C.; Carnevale, N.; Salinas, A. y Pioli, R. Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlttdl. [en línea]. *Rev. Iberoam. Micol.*, 2007, vol. 24, p. 142-147. [Consultado: 20/12/2008]. Disponible en: <<http://www.reviberoammicol.com/2007-24/142147.pdf>>.
10. Ramón, M y Mendoza, C. Efecto del deterioro post-corte sobre la germinación de la semilla asexual de cinco variedades de caña de azúcar. *Rev. Fac. Agron.*, 2002, vol. 19, no. 4, p. 264-272. ISSN 0378-7818. Disponible en: <<http://www.scielo.org.ve/scielo.php>>.
11. Melgoza, A.; Royo, M. H.; Morales, C. R. y Sierra, J. S. Germinación de semillas de hierba loca (*Astragalus mollissimus* Torr) con diferentes niveles de humedad y temperatura. [en línea] *Tec. Pecu. Méx.*, 2003, vol. 41, no. 1, p. 85-89. [Consultado: 20/01/2009] Disponible en: <<http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/pdf>>.
12. Salvador, R. y Lloret, F. Germinación en el laboratorio de varias especies arbustivas mediterráneas: efecto de la temperatura. [en línea] Orsis, 1995, no.10, p.25-34 [Consultado: 4/02/2009] Disponible en: <<http://ddd.uab.cat/pub/orsis/02134039v10p25.pdf>>.
13. Calvo, E.; Muñoz, B.; Orta, R. y Sánchez, J. A. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación para semillas de pepino (*Cucumis sativus*). [en línea] *Acta Botánica Mexicana*, 1997, vol. 38, p. 13-20. [Consultado: 10/11/2008] Disponible en: <[http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumeness/ABM/ABM.38.1997/acta38\(13-20\).pdf](http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumeness/ABM/ABM.38.1997/acta38(13-20).pdf)>.
14. Heydecker, W.; Higgin, J. y Gulliver, R. L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature*, 1973, no. 246, p. 42-44.
15. Fenner, M. y Thompson, K. The ecology of seeds. Cambridge: University Press, 2005. 241 p. ISBN: 0-521-65311-8.
16. Cabello, M. L.; Ruiz, T. y Devesa, J. A. Ensayos de germinación en endemismos ibéricos. *Acta Bot. Malacitana*, 1998, vol. 23, p. 59-69.
17. Ayerbe, L. y Ceressuela J. L. Germinación de especies endémicas españolas. *Anales del INIA. Serie Forestal*, 1982, vol. 6, p. 17-41.
18. Fernández-Bravo, C.; Urdaneta, N.; Silva, W.; Poliszuk, H. y Marín, M. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 2006, vol. 23, p. 188-195.
19. Montejo, L. A.; Sánchez, J. A. y Muñoz, B. Incremento de la germinación en semillas de fruta bomba por aplicación de tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 4, p. 27-31.
20. Prisco, J. T.; Haddad, C. R. y Bastos, J. L. P. Hydration-dehydration seed pre-treatment and its effects on seed germination under water stress conditions. *Rev. Brasil. Bot.*, 1992, vol. 15, no.1, p. 31-35.
21. Figueroa, J. A. y Jaksic, F. M. Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central. [en línea] *Rev. Chilena Historia Natural*, 2004, vol. 77, no.1, p. 201-215. [Consultado: 5/10/2008] Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&tlng=pt>.
22. Wulff, R. D. Environmental maternal effects on seed quality and germination. En: Kigel, J. y Galili, eds. G. Seed Development and Germination. New York: Marcel Dekker Inc., 1995. p. 491-505. ISBN: 0-8247-9229-7.
23. Burba, J. L.; Ocañas, R.; Lanzavechia, G. E. y Paganini, M. Manejo de semilla básica de ajo en condiciones controladas [en línea]. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2007. [Consultado: 28/10/2008]. Disponible en: <<http://www.inta.gov.ar/laconsulta/info/indices/tematica/ajo/pdf>>.
24. Zamora, M. La capacitación como vía para garantizar el éxito en la producción de semillas de arroz [en línea] Monografías.com. Agricultura y ganadería, 2007. [Consultado: 5/10/2008] Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos78/capacitacion-produccion-semilla-arroz/capacitacion-produccion-semilla-arroz.shtml>>.
25. Febles, G.; Torres, V.; Ruiz, T. E.; Martínez, L.; Díaz, H. y Noda, A. Empleo del análisis multivariado para evaluar la producción de semilla en accesiones de *Leucaena leucocephala* en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 2003, vol. 37, no.3 [Consultada: 21/01/2009] Disponible en: <<http://revistas.mes.edu.cu/cjas/repositorio/00347485/2009/numero-03/es.2003.37.03.0303.pdf>>.
26. Lobo, M.; Delgado, O.; Cartagena, J. R.; Fernández, E. y Medina, C. I. Categorización de la germinación y la latencia en semillas de chirimoya (*Annona cherimola* L.) y guanábana (*Annona muricata* L.), como apoyo a programas de conservación de germoplasma. *Agro-nomía Colombiana* [en línea], 2007, vol. 25, vol. 2, p. 231-244. ISSN 0120-9965. [Consultada: 6/01/2009] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext>.

27. Feijóo, I.; Rodríguez-Oubiña, J. Contribución a los estudios de conservación de *Leucanthemum gallaecicum*. Departamento de Biología Vegetal. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela. España. *Acta Biol.*, 2000, vol. 19, p. 113-119. Portugaliae Acta <http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero_articulo?>.
28. Vertucci, C. W. y Roos, E. Theoretical basis of protocol of seed storage. *Plant Physiology*, 1990, vol. 94, p. 1019-1023.
29. Sattler, S. E.; Gilliland, L. U.; Magallanes-Lundback, M.; Pollard, M. y DellaPenna, D. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. *The Plant Cell*, 2004, vol. 16, p. 1419-1432.
30. Galiussi, E. Los pasos de la semilla. Del árbol al laboratorio. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. [en línea] 2006. [Consultado: 8/01/2009] Disponible en: <<http://www.agro.unlp.edu.ar/institucional/secretarias/extension/publicacionestecnicas/pasossemversion.pdf>>.
31. Willan, R. L. Guía para la manipulación de semillas forestales: con especial referencia a los trópicos. [en línea] Roma: FAO, 1991. [Estudio FAO Montes 20/2] 502 p. ISBN 92-5-302291-4 [Consultado: 22/11/2008] Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/006/AD232S/ad232s00.htm>>.
32. Jara, L. F. Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales. 1997 [en línea]. [Consultado: 25/02/2009]. Disponible en: <<http://books.google.com.cu>>.
33. Sandoval, A. Almacenamiento de semillas. [en línea]. Centro de semillas y árboles forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Chile. [Consultado: 9/01/2009]. Disponible en: <<http://www.cesaf.uchile.cl/cesaf/n14/1.html>>.
34. Arizaleta, M, J.; Pares, J. y Montilla, J. Efecto del almacenamiento de las semillas de café (*Coffea arabica* L. var. Catuai amarillo) sobre la emergencia. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* [en línea], 2005, vol. 22, no. 3, p. 205-213. [Consultado: 15/02/2009] Disponible en: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?>>.
35. Cerovich, M. y Miranda, F. Almacenamiento de semillas: estrategia básica para la seguridad alimentaria. CENIAP HOY: *Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela* [en línea], 2004, no.4. [Consultado: 9/01/2009] Disponible en: <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n4/texto/mcerovich.htm>.
36. Otegui, M.; Sorol, C.; Fleck, A.; Klekailo, G. Madurez fisiológica, germinación y conservación de semillas de guayabito (*Psidium cuneatum*). *Revista Brasileira de Sementes* [en línea], 2007, vol. 29, no. 3. [Consultado: 26/02/2009] Disponible en: <<http://www.scielo.br/>>.
37. Hampton, J. G. ¿Qué significa calidad de semillas? *Revista SEED News* [en línea], 2001, vol. 5, no. 5 [Consultado: 9/12/2008] Disponible en: <http://www.seednews.inf.br/espahol/seed55/artigocapa55_esp.shtml>.
38. Gallo, C.; Cravioito, R. M. y Arango, M. R. Casete de Germinación y Sanidad de Semillas: Su uso en la Evaluación de la Calidad de Semillas de Soja. [en línea] Manfredi: INTA. PRECOP, 2006. [Consultado: 21/12/2008] Disponible en: <<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/calidad/CaseteGerminacionSanidadSemillas-Soja.asp>>.
39. Samperio, G. Germinación de semillas: Manual de divulgación para uso en instituciones de educación. [en línea] Toluca: Asociación hidropónica mexicana. [Consultado: 6/03/2009] Disponible en: <[http://www.ceiba.org/documents/CFTCpropman\(SP\).pdf](http://www.ceiba.org/documents/CFTCpropman(SP).pdf)>.
40. Piriz, V.; Fassola, H. E.; Chaves, A. R. y Mugridge, A. Almacenamiento refrigerado de semillas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze: conservación del poder germinativo. *RIA* [en línea], 2004, vol. 33, no. 2, p. 67-84. ISSN 0325-8718 [Consultado: 18/10/2008] Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/ediciones/ria/33_2/05.pdf>.
41. Magnitskiy, S. V. y Plaza, G. A. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agron. Colomb.* [en línea], 2007, vol. 25, no. 1, p. 96-103. 8718 [Consultado: 25/11/2008] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?sci_arttext>.
42. Rojo, C. Acondicionamiento osmótico de simientes de girasol (*Helianthus annuus* L.) para el avance de la germinación en siembras precoces para zonas áridas. [en línea] [Tesis de Doctorado]. Madrid: Universidad Politécnica, 2005. [Consultado: 22/01/2009] Disponible en: <<http://oa.upm.es/118/1/TesisCarlosRojo.pdf>>.
43. Roqueiro, G.; Maldonado, S. y Maroder, H. Avances sobre las causas del rápido deterioro de las semillas de sauce y su reversión. [en línea] En: Jornadas de Salicáceas 2006: Actas. Buenos Aires [Consultado: 14/12/2008] Disponible en: <<http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/biblos/JS%202006/pdf%20tt/Roqueiro.pdf>>.
44. Vásquez, T.; Corvera, R. y Velarde, N. Viabilidad de semillas de shiringa (*Hevea brasiliensis*) sometidas a diferentes tratamientos de almacenamiento. [en línea] Iquitos: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP; BIODAMAZ, 2007. Artículo científico No.1. 14 p. [Consultado: 16/01/2009] Disponible en: <<http://www.iiap.org.pe/.../2-Identificacióndeárboles.pdf>>.
45. Sánchez, J. A.; Calvo, E.; Muñoz, B. C. y Orta, R. Comparación de dos técnicas de acondicionamiento de semillas y sus efectos en la conducta germinativa de tomate, pimiento y pepino. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 4, p. 51-56.
46. Soriano, J. y González, J. Elementos para el desarrollo de sistemas de manejo sustentables de los recursos genéticos y la producción de semilla: documentos técnicos. [en línea] *Cultivar Local*, 2003, no. 3, p. 37-45. [Consultado: 7/02/2009] Disponible en: <http://www.redandalusadesemillas.org/IMG/pdf/Cultivar_Local_No_3.pdf>
47. Warren, J. E. y Bennett, M. A. Seed hydration using the drum priming system. *Hort Science*, 1997, vol. 32, p. 1220-1221.

Recibido: 16 de junio de 2009

Aceptado: 1 de diciembre de 2009