

GERMINACION DE SEMILLAS



JOSE MANUEL PITA VILLAMIL

Doctor en Ciencias Biológicas

FELIX PEREZ GARCIA

Doctor Ingeniero Agrónomo.

Dpto. Biología Vegetal, E.U. Ingeniería Técnica Agrícola, UPM 28040 Madrid



GERMINACIÓN DE SEMILLAS

INTRODUCCIÓN

Las semillas son, en la mayor parte de las especies de interés agrícola, el principal mecanismo de reproducción. Las semillas están constituidas por un embrión y por compuestos de reserva (glúcidos, proteínas, lípidos), rodeados ambos por las cubiertas seminales. No obstante, esta estructura general varía entre las diferentes especies principalmente en relación al tipo y proporción de los compuestos de reserva y a las características de las cubiertas seminales.

Las semillas, una vez finalizado su desarrollo sobre la planta madre, permanecen en un estado de "reposo" hasta que se dan las condiciones favorables para su germinación. Este estado puede venir determinado por la existencia de condiciones ambientales desfavorables o por la existencia de factores que actúan desde la propia semilla no permitiendo su germinación. En el primer caso se dice que la semilla se encuentra en un estado de quiescencia y en el segundo que la semilla presenta dormición.

La imbibición de las semillas quiescentes, en condiciones óptimas de temperatura, oxigenación e iluminación, pone en marcha un conjunto de mecanismos fisiológicos que permiten su germinación y el posterior desarrollo de la plántula.

CONCEPTO DE GERMINACIÓN

La germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula. En condiciones de laboratorio, la posterior rotura de las cubiertas seminales por la radícula es el hecho que se utiliza para considerar que la germinación ha tenido lugar (criterio fisiológico) (Figura 1). Sin embargo en condiciones de campo no se considera que la germinación ha finalizado hasta que se produce la emergencia y desarrollo de una plántula normal (criterio agronómico) (Figura 2).



Figura 1. La aparición de la radícula es el hecho que, en condiciones de laboratorio, indica que la germinación de la semilla ha tenido lugar.



Figura 2. Desde un punto de vista agronómico no se considera que la semilla ha germinado hasta que tiene lugar la emergencia y establecimiento de la plántula.

FASES DE LA GERMINACIÓN

Imbibición

La primera etapa de la germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla desde el medio exterior (imbibición). La hidratación de los tejidos de la semilla es un proceso físico con una duración variable según la especie considerada. Así, las semillas de guisante (*Pisum sativum*) apenas se imbiben durante las tres primeras horas, mientras que en apio (*Apium graveolens*) la entrada de agua se completa en unos 30 minutos. En otras especies, como es el caso de muchas leguminosas, la entrada de agua está dificultada por las cubiertas seminales, siendo necesario que éstas se alteren mecánicamente para que la imbibición tenga lugar.

Una vez que la semilla se ha hidratado, comienzan a activarse toda una serie de procesos metabólicos que son esenciales para que tengan lugar las siguientes etapas de la germinación. En esta fase de la germinación, si las condiciones del medio lo determinan, la semilla puede deshidratarse retornando a su estado inicial. En general, esta deshidratación no afecta negativamente a las semillas, las cuales pueden posteriormente volver a hidratarse y reiniciar el proceso de germinación. No obstante, en algunas especies, una deshidratación prolongada puede implicar la transformación de las semillas en "semillas duras", que se caracterizan porque se imbiben muy lentamente. Este fenómeno es frecuente en leguminosas, por ejemplo en judía (*Phaseolus vulgaris*), lo que determina una germinación más lenta y heterogénea.

Otros factores que pueden influir en esta etapa de la germinación son: la falta de suficiente agua (déficit hídrico), el exceso de agua, la velocidad de hidratación o la temperatura a la que tiene lugar la imbibición.

La sensibilidad de las semillas a la falta de agua (déficit hídrico) es variable según la especie. No obstante, la velocidad de germinación suele ser menor cuando la semilla ha estado sometida a déficit hídrico; igualmente se ha observado que en estas circunstancias las semillas son más susceptibles a las infecciones por hongos.

Un exceso de agua también puede llegar a ser desfavorable al dificultar la llegada de oxígeno al embrión. Por ello algunas especies impiden la germinación, en presencia de un exceso de agua, generando una capa de mucílago que dificulta la entrada de suficiente oxígeno como para que se inicie la germinación.



En otros casos, la hidratación rápida de la semilla puede provocar alteraciones de tipo mecánico (rotura del eje embrionario) que afectan a la germinación y al posterior establecimiento de la plántula; este fenómeno es habitual en semillas de judía.

Por último, la imbibición a bajas temperaturas de las semillas de algunas especies, sobre todo de origen tropical y subtropical, puede provocar alteraciones en el posterior crecimiento y desarrollo de las plantas. Este es el caso del algodón (*Gossypium spp.*) y de la soja (*Glycine max*) en las que si sus semillas son imbibidas a una temperatura inferior a 5 °C, se produce un escaso crecimiento de las plantas y la aparición de anomalías durante el desarrollo de las raíces.

Germinación "sensu stricto"

Una vez que la semilla se ha hidratado adecuadamente, se entra en una segunda etapa del proceso de germinación, la denominada fase de germinación "sensu stricto" (en sentido estricto), que se caracteriza, entre otros hechos, porque se produce una disminución en la absorción de agua por las semillas (Figura 3). Durante esta etapa tiene lugar una activación generalizada del metabolismo de la semilla, lo cual es esencial para que se desarrolle la última fase del proceso de germinación, la fase de crecimiento.



Figura 3. Evolución de la tasa de absorción de agua durante las diferentes fases de la germinación.

Fase de crecimiento

En esta última fase de la germinación, paralelamente al incremento de la actividad metabólica, se produce el crecimiento y emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales.

Las semillas que han alcanzado la fase de crecimiento no pueden volver a etapas anteriores y en el caso de que las condiciones del medio no permitan que esta fase pueda seguir adelante, la semilla morirá.

Una vez que la radícula ha roto las cubiertas seminales, se inicia el desarrollo de la plántula, proceso complejo y variable según las especies, que implica un elevado gasto de energía que se obtiene mediante la movilización de las reservas nutritivas de la semilla.

MOVILIZACIÓN DE RESERVAS

Las compuestos de reserva que se encuentran en las semillas son glúcidos, proteínas y lípidos, en mayor o menor proporción según la especie considerada. La movilización de estas reservas, durante la germinación, es un proceso esencial que permite la supervivencia de la semilla hasta que la plántula se desarrolla lo suficiente como para poder realizar la fotosíntesis.

La movilización de reservas ha sido estudiada esencialmente en semillas de cereales y leguminosas, por ello, los mecanismos que a continuación se describen se centran principalmente en estos dos grupos de plantas.

Movilización de glúcidos

Los glúcidos y en concreto el almidón suelen ser los principales compuestos de reserva en los granos de cereales. La hidrólisis previa del almidón es imprescindible para obtener, a partir de las moléculas de glucosa que lo constituyen, la energía necesaria para la activación del metabolismo de la semilla. El proceso se inicia con la liberación por el embrión de giberelinas, hormonas vegetales que determinan la síntesis de los enzimas responsables de la degradación del almidón.

En las leguminosas también se encuentran glúcidos (almidón, galactomananos) como compuestos de reserva, aunque en menor proporción que en los cereales. El mecanismo de movilización es análogo al descrito para los granos de cereales.



Movilización de proteínas

Las proteínas, como compuestos de reserva, son características de muchas semillas de leguminosas. La movilización de proteínas provee a la semilla de aminoácidos, a partir de los que se obtiene la energía necesaria, con ello se suple la deficiencia en glúcidos que suelen presentar este tipo de semillas. En los cereales también se encuentran proteínas que se utilizan, durante la germinación, de manera análoga que en el caso de las semillas de leguminosas.

La degradación de las proteínas a aminoácidos es llevada a cabo por enzimas específicos denominados proteasas, que se sintetizan por la presencia de giberelinas liberadas por el embrión.

Movilización de lípidos

Los lípidos como compuestos de reserva están presentes en semillas de distintas especies, que por esta razón, tienen una gran importancia agronómica: soja (*Glycine max*), girasol (*Helianthus annuus*), algodón (*Gossypium spp.*), cártamo (*Carthamus tinctorius*), colza (*Brassica campestris*), olivo (*Olea europaea*), etc.

Los lípidos presentes en las semillas son esencialmente triglicéridos, que por la acción de los enzimas denominadas lipasas se degra-



Figura 4. Los compuestos de reserva deben ser hidrolizados, hasta sus unidades fundamentales, para poder ser utilizados en el metabolismo energético de la semilla.

dan hasta sus componentes, glicerol y ácidos grasos, que se incorporan al metabolismo energético de la semilla.

Todo lo anterior pone de manifiesto que, en cada caso, la movilización implica la degradación de los compuestos de reserva hasta unidades que puedan ser utilizadas por la semilla en la obtención de energía química (Figura 4).

CONTROL DE LA GERMINACIÓN

La germinación de las semillas no durmientes implica, en primer lugar, la hidratación de sus tejidos, paso previo para que la germinación pueda continuar siempre que las condiciones de temperatura, aporte de oxígeno e iluminación sean las adecuadas (Figura 5).

Agua

La entrada de agua a las semillas es un proceso físico que se produce por capilaridad a través de las cubiertas seminales. Para ello el agua debe



Figura 5. Cámaras de incubación utilizadas en la realización de ensayos de germinación en condiciones controladas.



encontrarse disponible en el suelo, siendo poco relevante la cantidad de agua que la semilla pueda captar de la atmósfera circundante.

La existencia de un exceso o déficit de agua impide, por regla general, la germinación de las semillas, o por lo menos afecta negativamente a los porcentajes finales de germinación. La situación de estrés hídrico es superada, en algunas especies, mediante el desarrollo de mecanismos adaptativos que les permiten establecerse en esas condiciones adversas. Entre estos mecanismos destaca la producción de semillas con abundantes reservas que posibilitan la germinación en zonas profundas del suelo donde la humedad es mayor, ésta es una característica adaptativa que presentan las semillas de numerosas especies consideradas como "malas hierbas".

Las semillas que se han hidratado, si el suelo se seca, se deshidratan, pudiendo repetirse este ciclo varias veces; lo cual, generalmente, no afecta negativamente a las semillas que serán capaces de germinar cuando las condiciones sean favorables. Algunos trabajos destacan que la hidratación-deshidratación de las semillas disminuye el tiempo necesario para que la emergencia de la radícula tenga lugar. Ello se supone que es debido a que los procesos metabólicos, iniciados durante la hidratación, se detienen durante la deshidratación, reiniciándose al rehidratarse la semilla. Este tipo de respuesta se ha utilizado para la obtención de semillas de cereales, leguminosas y hortícolas que presentan una germinación más rápida y homogénea. Además se ha comprobado que, en algunos casos, las plantas obtenidas a partir de semillas sometidas a uno o más ciclos de hidratación-deshidratación son más resistentes a la sequía.

Por último es de destacar que la salinidad del suelo puede limitar e incluso impedir la entrada de agua a la semilla, no pudiendo, por ello, tener lugar la germinación. Así por ejemplo, las semillas de alfalfa (*Medicago sativa*) son extremadamente sensibles a la salinidad del suelo y una vez afectadas ya no se recuperan aunque esas condiciones desaparezcan.

Oxígeno

El oxígeno llega al embrión disuelto en el agua de imbibición, siendo imprescindible para que la germinación pueda tener lugar. Sólo, excepcionalmente, las semillas de algunas especies, sobre todo de plantas acuáticas, pueden llegar a germinar en ausencia o con bajas concentraciones de oxígeno.

La entrada de oxígeno a la semilla puede estar interferida por la presencia en las cubiertas seminales de compuestos químicos (fenoles) o estructuras especializadas (capa de mucílago). Asimismo, las altas temperaturas, que disminuyen la solubilidad del oxígeno en el agua, pueden dificultar la entrada del oxígeno y por tanto la germinación.

Temperatura

Para cada especie existe un rango de temperaturas dentro del cual puede tener lugar la germinación de sus semillas. Este rango queda definido por una temperatura máxima y una temperatura mínima para la germinación; considerándose como temperatura óptima de germinación, la temperatura, dentro del intervalo, más idónea para obtener el mayor porcentaje de semillas germinadas en el menor tiempo posible. Un rango de temperaturas habitual para especies de zonas templadas es el comprendido entre 5 y 25 °C. No obstante el rango de temperaturas en el cual germinan las semillas de una especie puede variar en función de distintos factores, como son la variedad y el origen geográfico.

Otras especies son capaces de germinar a temperaturas superiores a 40 °C o inferiores a 5 °C; sin embargo, normalmente, temperaturas tan bajas suelen afectar a las semillas durante las primeras etapas de la imbibición, lo que implica la aparición de alteraciones morfológicas en las plántulas que dificultan o impiden su supervivencia.

En condiciones de laboratorio no son las temperaturas constantes las que suelen determinar una mayor germinación, sino las temperaturas alternas, por ejemplo 15 °C (16 horas) y 25 °C (8 horas). Ello se supone que es debido a que este régimen de temperaturas simula las condiciones reales a las que las semillas se ven sometidas en condiciones naturales.

El control de la germinación por la temperatura permite asegurar que la semilla sólo germinará cuando las condiciones ambientales sean las más adecuadas. Así, las especies de verano germinan a temperaturas más elevadas que las especies de invierno. Las especies de malas hierbas germinan escalonadamente según varía la temperatura a lo largo del año, lo que minimiza la competencia entre sus plántulas y asegura una mayor tasa de supervivencia.



Iluminación

El efecto que las condiciones de iluminación tienen sobre las semillas permite clasificar a éstas en tres categorías:

- a) Semillas con fotosensibilidad positiva. Son semillas que germinan preferentemente bajo iluminación.
- b) Semillas con fotosensibilidad negativa. Son semillas que germinan preferentemente en oscuridad, mientras que la iluminación inhibe su germinación.
- c) Semillas no fotosensibles. Son semillas que germinan independientemente de las condiciones de iluminación.

Así, en las especies cuyas semillas se incluyen en la primera categoría (fotosensibilidad positiva), la germinación no tiene lugar si están profundamente enterradas. En estas especies, algunas típicas malas hierbas, la germinación no tiene lugar hasta que no se sitúan cerca de la superficie del suelo, ya sea por causas naturales o por el laboreo para la preparación del terreno.

En especies con semillas que presentan fotosensibilidad negativa ocurre todo lo contrario, las semillas para germinar deben situarse a cierta distancia de la superficie del suelo para protegerse del efecto inhibidor de la luz blanca. Esta protección se logra a escasa profundidad, dado que la transmisión de la luz a través del suelo es muy baja, estimándose que sólo el 2% de la luz atraviesa los dos primeros milímetros de un sustrato arenoso.

Factores hormonales

Las hormonas vegetales tienen un relevante papel en la germinación de las semillas, sin embargo, a pesar de los numerosos estudios realizados, aún se desconocen la mayoría de los mecanismos implicados en su actuación. Desde el punto de vista de la germinación, las hormonas vegetales se pueden dividir en dos grandes grupos:

- a) Promotoras de la germinación.
- b) Inhibidoras de la germinación.

En el primer grupo destacan las giberelinas, capaces de promover la germinación de semillas tanto durmientes como no durmientes; por ello, en muchos casos, se ha propuesto un papel clave de estas hormonas vegetales en los mecanismos fisiológicos relacionados con la germinación.

Las sustancias inhibitoras de la germinación son muy numerosas, destacando entre ellas el ácido abscísico, el cual impide, en un gran número de especies, la germinación tanto de semillas como de embriones aislados. Además, son numerosos los trabajos que relacionan directamente la presencia de ácido abscísico en las semillas con su incapacidad para germinar. Así, en las semillas de algunas variedades de trigo (*Triticum spp.*) y judía (*Phaseolus vulgaris*), la germinación no tiene lugar hasta que se produce una disminución de concentración de esta hormona en los tejidos de sus semillas. En algunas especies cultivadas, la presencia de ácido abscísico impide la denominada viviparidad, fenómeno por el cual las semillas germinan sobre la planta madre cuando ésta se humedece por causa de la lluvia o de una humedad ambiental elevada.

Dormición

La dormición es un estado fisiológico por el cual las semillas no son capaces de germinar aún cuando las condiciones ambientales sean favorables. Las causas de la dormición pueden radicar en las cubiertas seminales o en el embrión.

En el primer caso, la dormición se manifiesta solamente en la semilla intacta mientras que el embrión aislado es capaz de germinar. La semilla es durmiente porque los tejidos que rodean al embrión ejercen una restricción que éste no puede superar.

Los principales mecanismos por los cuales las cubiertas seminales imponen la dormición son los siguientes:

- Restricciones mecánicas
- Interferencia con la captación de agua
- Interferencia con el intercambio gaseoso
- Presencia de inhibidores en las cubiertas
- Interferencia a la salida de inhibidores

Por el contrario, en el segundo caso, el embrión es durmiente en sí mismo y la eliminación de las cubiertas seminales no conlleva su germinación.

La dormición de las semillas tiene una gran importancia ecológica al optimizar la distribución de la germinación tanto en el tiempo como en el espacio. En el tiempo, al estar impedida la germinación durante largos periodos más o menos largos y en el espacio, al disponer las



semillas de más tiempo para su diseminación. Asimismo, la dormición suele contribuir a que la germinación se escalone en el tiempo debido a que las semillas de una misma población no suelen presentar el mismo nivel de dormición. Este hecho se suele manifestar, a nivel morfológico, por diferentes coloraciones o tamaños de las semillas durmientes y no durmientes.

Desde un punto de vista agrícola la dormición de las semillas presenta tanto aspectos negativos como positivos. Así, la dormición que presentan las semillas de algunos cultivares de trigo (*Triticum spp.*), cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*), arroz (*Oryza sativa*), lechuga (*Lactuca sativa*), apio (*Apium graveolens*), zanahoria (*Daucus carota*), etc., determina una germinación lenta y heterogénea, que dificulta la obtención de plántulas y el establecimiento del cultivo.

Asimismo, otro aspecto negativo es que la dormición asegura la permanencia en el suelo, durante largos periodos de tiempo, de semillas de malas hierbas que infectarán sistemáticamente los terrenos cultivados (Figura 6).

En otros casos, la dormición que presenta la semilla al fin de su maduración es beneficiosa, ya que impide el fenómeno de la vivipari-



Figura 6. Las semillas de las especies consideradas como "malas hierbas" suelen presentar dormición. Frutos y semillas de *Datura ferox* y *D. stramonium*.



Figura 7. Plántulas de la especie *Onopordum nervosum* en las primeras etapas de su desarrollo.



Figura 8. Nascencia epigea de una plántula de *Onopordum nervosum*



dad o germinación de la semilla sobre la propia planta madre, lo cual es un grave problema en cultivos de cereales como el trigo y la cebada. Por ello, en los programas de mejora es aconsejable seleccionar para que las semillas presenten un cierto grado de dormición inmediatamente después de su maduración.

DESARROLLO DE LA PLÁNTULA

La germinación se considera que ha finalizado cuando la radícula emerge a través de las cubiertas seminales. A partir de este momento su posterior desarrollo llevará a la aparición de la plántula sobre el suelo (nascencia)(Figuras 7 y 8).

La nascencia de las plántulas se clasifica en dos tipos según la situación de los cotiledones durante el desarrollo de la plántula: nascencia epigea y nascencia hipogea. En la nascencia epigea los cotiledones aparecen por encima del nivel del suelo y en la nascencia hipogea los cotiledones permanecen por debajo del nivel del suelo.



Figura 9. El establecimiento de las plántulas es una etapa crítica debido a que diversos factores pueden provocar elevadas tasas de mortalidad.

Durante estas primeras etapas de su desarrollo, la plántula es aún dependiente de las reservas de la semilla, cuya movilización y utilización es imprescindible para su nascencia. Esta dependencia desaparece paulatinamente según se incrementa la absorción de nutrientes del suelo y se inicia la fotosíntesis en los primeros órganos verdes de la plántula (cotiledones y/o primeras hojas). Estas primeras etapas del desarrollo de la plántula son difíciles y en ellas se detectan elevadas tasas de mortalidad cuyas principales causas son la desecación, la depredación, enfermedades y la competencia entre las propias plántulas (Figura 9).

Los estudios realizados en diferentes especies destacan que un mayor tamaño de la semilla incrementa las posibilidades de supervivencia de la plántula. Este hecho se relaciona con la mayor cantidad de compuestos de reserva presentes en las semillas de mayor tamaño, lo que asegura una mayor disponibilidad de energía durante la germinación y el establecimiento de la plántula. Ello es de especial importancia en circunstancias ambientales adversas, como son las condiciones de escasa luminosidad, en las que la producción de compuestos orgánicos mediante la fotosíntesis es poco eficaz.

La desecación de la plántula puede venir determinada por condiciones extremas de sequía o por la incapacidad de la plántula para desarrollar un sistema radicular capaz de absorber la suficiente cantidad de agua del suelo. En situaciones de este tipo, el tamaño de las semillas parece tener, una vez más, una gran importancia. Las plántulas que se desarrollan a partir de semillas de mayor tamaño presentan un desarrollo radicular mayor y más rápido; además, estas plántulas son capaces de emerger desde profundidades mayores, lo que les puede facilitar una mayor proximidad al agua disponible en el suelo. No obstante, si la profundidad a la que se encuentra la semilla es demasiado grande, la plántula puede no ser capaz de emerger. Por ello, algunas semillas presentan mecanismos que les permiten retrasar la germinación en el caso de encontrarse profundamente enterradas.

La competencia entre plántulas, ya sean de la misma o distinta especie, es otra de las razones que determina su mortalidad en un gran número. Esta situación se da esencialmente en los periodos favorables para el desarrollo de las plántulas, en los que se produce una nascencia simultánea de un gran número de ellas.



Una vez que la plántula en desarrollo ha superado todas estas barreras, se constituye en un sistema independiente (Figura 10) capaz de asegurarse su supervivencia mediante la absorción de agua y nutrientes minerales y la producción de compuestos orgánicos a través de la fotosíntesis (Figuras 11 y 12).



Figura 10. La plántula, una vez establecida, inicia la producción de compuestos orgánicos mediante la fotosíntesis.

LONGEVIDAD, VIABILIDAD Y VIGOR DE SEMILLAS

La importancia de las semillas dentro del contexto agrícola radica esencialmente en su doble papel de ser el principal mecanismo de reproducción de la mayoría de los cultivos y el producto final a obtener en gran número de ellos. Por esto, es de gran importancia el conocimiento de los mecanismos implicados en la germinación, así como los asociados a la pérdida de capacidad germinativa de las semillas durante su almacenamiento.

En general, la mayoría de las semillas pueden mantener su capacidad para germinar si se las conserva a baja temperatura y con un bajo conte-



Figura 11. Establecimiento de plántulas de pino (*Pinus sp.*).



Figura 12. En las plántulas de pino (*Pinus sp.*) los primeros órganos fotosintetizadores son los cotiledones.



nido de humedad (semillas ortodoxas) (Figura 13). Ambas condiciones deben de coincidir, ya que si el contenido de agua de la semilla es elevado, su congelación originaría un deterioro irreversible de sus tejidos.



Figura 13. Cámaras de conservación de semillas del Centro de Recursos Fitogénéticos (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

A lo largo del almacenamiento, la semilla va sufriendo un paulatino envejecimiento, utilizándose el término de longevidad para describir el tiempo que las semillas pueden sobrevivir en unas condiciones determinadas de almacenamiento.

Los parámetros utilizados en la evaluación del estado de un lote de semillas son su viabilidad y su vigor. La viabilidad de un lote de semillas se puede definir como el porcentaje de semillas que son capaces de germinar en condiciones óptimas, de tal manera que una mayor viabilidad implica un mayor porcentaje de germinación. Por otro lado, el vigor de un lote de semillas describe la velocidad de la germinación. Esta se suele medir por el tiempo necesario para que germinen el 50% de las semillas.

De todo lo anterior se desprende que el conocimiento de los mecanismos implicados en la germinación y de los factores que la controlan es fundamental para la optimización agronómica y económica de todos estos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

Besnier Romero, F. (1989). Semillas. Biología y Tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 637 p.



MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN

SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
CENTRO DE PUBLICACIONES

Paseo de la Infanta Isabel, 1 - 28014 Madrid