

Libros de **Cátedra**

# Introducción a la propagación vegetal

De la fisiología a la práctica integrada

Gustavo Esteban Gergoff Grozeff

Marcela Fabiana Ruscitti, Daniel Oscar Gimenez  
(coordinadores)

**n**  
naturales

FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

  
**EduLP**  
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

# INTRODUCCIÓN A LA PROPAGACIÓN VEGETAL

DE LA FISIOLOGÍA A LA PRÁCTICA INTEGRADA

Gustavo Esteban Gergoff Grozeff

Marcela Fabiana Ruscitti

Daniel Oscar Gimenez

(coordinadores)

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



*A la Universidad Nacional de La Plata y su editorial por dejar plasmar nuestras ideas y herramientas a disposición de la sociedad. A los estudiantes de las distintas cohortes que nos siguieron fielmente en el Taller de Introducción a la Propagación Vegetal. A todos los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP que le dieron el marco multidisciplinario a los Talleres y a la presente obra. A la Secretaría de Extensión de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales por haber confiado año tras año en nuestra propuesta de extensión, abriendo una puerta de la Universidad para toda la comunidad. Al Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE) por brindar el espacio para este proyecto.*

## Agradecimientos

A nuestra querida Casa de Altos Estudios, por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestra obra con el fin de acercar herramientas a la difícil tarea de la multiplicación de especies vegetales. A los profesores del Curso de Fisiología Vegetal, Daniel Gimenez y Marcela Simontacchi, que desde el inicio dieron su apoyo incondicional a esta propuesta de extensión que no ha parado de crecer en los últimos años. A los docentes de los cursos de Fisiología Vegetal, Zoología Agrícola, Horticultura, Fruticultura, Fitopatología y Protección Forestal por darle una impronta multidisciplinaria a esta obra. Al Ing. Agr. Mario Ferrari, responsable técnico del vivero Las Delicias y a la Ing. Agr. Susana Gamboa, responsable técnica del vivero Di Carlo por las fructíferas visitas a sus establecimientos, abriendo las puertas al conocimiento de los secretos de este arte. También hacemos extensivo este agradecimiento a las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, especialmente a la Secretaría de Extensión, por confiar en esta propuesta que ha ido creciendo a pasos agigantados en el número de participantes y por el financiamiento otorgado. A todos los cursantes en las distintas modalidades de este Taller, que fieles en su participación activa, han brindado sus críticas y consejos para mejorar nuestras herramientas de enseñanza-aprendizaje, las cuales nos permitieron crecer como docentes.

Esta obra está dedicada a todos los productores, viveristas, docentes, estudiantes, profesionales y aficionados, entendiendo a la Propagación Vegetal como un arte y luego como una ciencia.

# Índice

<b>Prólogo</b>	8
<b>Capítulo 1</b>	
Generalidades de la propagación de plantas e insumos	9
<i>Marcela Ruscitti, Gustavo Esteban Gergoff Grozoff y Daniel Gimenez</i>	
<b>Capítulo 2</b>	
Fundamentos de Morfología y Fisiología Vegetal	20
<i>Alejandra Carbone</i>	
<b>Capítulo 3</b>	
Biología reproductiva de las plantas terrestres	45
<i>Virginia M.C. Luquez</i>	
<b>Capítulo 4</b>	
Propagación por semillas y fisiología de la germinación	65
<i>Eduardo A. Tambussi</i>	
<b>Capítulo 5</b>	
Estacas	92
<i>Gustavo Esteban Gergoff Grozoff y Daniel Gimenez</i>	
<b>Capítulo 6</b>	
Acodos	122
<i>Gustavo Esteban Gergoff Grozoff y María de los Ángeles Romero</i>	
<b>Capítulo 7</b>	
Injertación: Fundamentos y técnicas	141
<i>Gustavo Esteban Gergoff Grozoff y Gabriela Andrea Morelli</i>	
<b>Capítulo 8</b>	
Propagación de especies nativas	183
<i>Juan Marcelo Gauna, Valentina Balirán y Daniel O. Gimenez</i>	
<b>Capítulo 9</b>	
Plantas Ornamentales	210
<i>Blanca Susana Gamboa y Victoria Fernández Acevedo</i>	

<b>Capítulo 10</b>	
Fundamentos de la micropropagación en plantas _____	241
<i>Marcela Ruscitti</i>	
<b>Capítulo 11</b>	
Ejemplos de micropropagación en plantas de interés comercial _____	262
<i>Marcela Ruscitti</i>	
<b>Capítulo 12</b>	
Organismos perjudiciales en viveros _____	273
<i>Alejandro Moreno Kiernan y Elisabet Mónica Ricci</i>	
<b>Capítulo 13</b>	
Enfermedades de las plantas leñosas en vivero _____	307
<i>Alberto M. Aprea</i>	
<b>Capítulo 14</b>	
Enfermedades de las plantas herbáceas en vivero _____	317
<i>Cecilia I. Mónaco</i>	
<b>Capítulo 15</b>	
Ciclos productivos y legislación _____	326
<i>Gustavo Esteban Gergoff Grozoff y María de los Ángeles Romero</i>	
<b>Los autores</b> _____	344

# CAPÍTULO 4

## Propagación por semillas y fisiología de la germinación

*Eduardo A. Tambussi*

### Introducción <sup>(1)</sup>

Tal como hemos visto en capítulos anteriores, la semilla es el óvulo fecundado y maduro y está contenido en el fruto (el cual deriva del ovario en el caso de las Angiospermas; no así en las Gimnospermas en las cuales las semillas no están contenidas en un fruto). Retomando lo que vimos en capítulos anteriores, recordemos que dentro del óvulo se desarrolla el saco embrionario el cual contendrá diversas células, entre ellas la gameta femenina (oófera). Ésta, al fusionarse con uno de los núcleos espermáticos (proveniente del grano de polen) formará un cigoto, el cual por divisiones celulares y diferenciación formará un embrión. Así se reestablece la condición diploide (número  $2n$  de cromosomas: recordar que las gametas son haploides ( $n$ ) en el ciclo de vida de la planta).

Ya tenemos entonces una de las partes fundamentales de la futura semilla: el **embrión** (el cual podrá en su momento originar una nueva planta a través de la germinación y el establecimiento de la plántula<sup>2</sup>. Un embrión típico de especies dicotiledóneas posee una radícula (raíz embrionaria), dos cotiledones ('hojas' embrionales) y la plúmula (ápice del vástago, que originará la parte aérea de la planta, con tallos y hojas). En las gramíneas (incluyendo cereales) el embrión es algo diferente: (i) contiene un solo cotiledón ('escutelo'); (ii) la plúmula está cubierta por un 'cono' que lo protege (a manera de 'capuchón'), llamado coleoptilo y (iii) la radícula también está protegida por una coleoriza. Como veremos más adelante, conocer la forma y ubicación del embrión en la semilla es importante para el análisis de la viabilidad (ver secciones siguientes).

---

<sup>1</sup> Dado que este es un libro destinado a un público heterogéneo en su formación biológica (alumnos, aficionados etc.) procuramos no caer en demasiados tecnicismos, pero sin olvidar la terminología y conceptos con base científica: el tratamiento del tema resulta de un compromiso entre la simplicidad (con rigor) y cierta profundidad.

<sup>2</sup> No es correcto pensar que '*el embrión es una planta en miniatura*'. Si bien determinadas partes del embrión originarán los respectivos órganos (v.g. la radícula formará la raíz, la plúmula dará el vástago), los tejidos no están diferenciados como en la planta. Por ejemplo, en el embrión los cloroplastos no poseen su típica estructura y no contienen clorofila. Algo similar sucede en los sistemas de conducción (xilema y floema), ya que no están diferenciados. Durante el establecimiento de la plántula, se diferenciarán las células, tejidos y órganos, todo regulado por el control de programas genéticos definidos, y bajo la influencia moduladora de factores ambientales (luz, temperatura etc.).

Otra parte fundamental de la semilla es el **tejido de reserva**. Recordemos que inicialmente la plántula será heterotrófica (es decir, obtendrá su energía de compuestos orgánicos almacenados, y los degradará en el proceso respiratorio que ocurre en las mitocondrias) hasta que se formen sus hojas verdes que la conviertan en un organismo autotrófico mediante fotosíntesis.

El tercer componente de la semilla es la **cubierta o testa seminal**, que la protege, y en ciertos casos que veremos más adelante, puede inhibir la germinación. La testa puede ser delgada o bien engrosada y lignificada (v.g. capas de células pétreas o esclereidas), representando una barrera física importante para la re-hidratación de la semilla (imbibición), dificultar el intercambio gaseoso o bien obstruir la salida de la radícula.

Ahora bien, la sustancia de reserva puede ser clasificada (según su origen) en tres tipos. En primer caso, puede ser endosperma, un tejido que proviene de la unión de uno de los núcleos espermáticos con los núcleos polares del saco embrionario, formando un tejido triploide  $3n^{(3)}$ . Estas semillas se denominan endospermadas, y numerosas especies se encuadran en este caso (trigo, cebada, maíz, etc.). Otra posibilidad es que la sustancia de reserva esté en los cotiledones del propio embrión, llamándose en este caso semillas exalbuminadas. El típico ejemplo de esto, son los cotiledones de los *Phaseolus* ('porotos', 'judías'), *Glycine max* ('soja'), *Helianthus annuus* ('girasol'), *Cucurbita* spp. ('zapallo') y muchas otras especies. Una tercera posibilidad es que la sustancia de reserva esté en un tejido materno del óvulo, la nucela y en este caso las semillas son perispermadas.

Desde el punto de vista químico, las reservas de la semilla pueden pertenecer a hidratos de carbono (v.g. almidón), lípidos ('grasas'), y proteínas (heteropolímeros de aminoácidos). La composición relativa de cada uno de estos componentes es variable según las especies. En algunas semillas hay una neta predominancia de carbohidratos (v.g. cereales, con menor contenido porcentual de proteínas y de lípidos), en otras ya el porcentaje de proteínas es más alto (v.g. soja, poroto) y finalmente, en algunas especies predominan los lípidos (v.g. 'girasol' *Helianthus annuus*, el 'maní o cacahuete', *Arachis hypogaea*, la 'palmera aceitera' *Elaeis spp.*, 'canola o colza' *Brassica napus*). Los carbohidratos y lípidos servirán como energía y esqueletos carbonados para el crecimiento del embrión y la plántula; las proteínas son fuente de N para la biosíntesis de otras proteínas y diversos compuestos nitrogenados requeridos para el metabolismo celular. Al margen de las consecuencias para la alimentación humana, la composición relativa (en particular, de lípidos) pueden tener alguna consecuencia para la longevidad (tiempo en que la semilla permanece viva y con capacidad de germinar): los lípidos insaturados (i.e. con dobles enlaces entre átomos de carbono) suelen ser susceptibles de oxidación, por lo que semillas con abundancia de este tipo de lípidos pueden ser menos longevas.

Por otra parte, la ubicación del embrión en la semilla y la superficie que ocupa en la misma es variable según las diferentes especies, pudiendo adoptar diferentes formas y tamaños. Por

---

<sup>3</sup> Véase el capítulo correspondiente al ciclo biológico de las plantas con semilla (reparar conceptos de doble fecundación, ploidía, etc.).

algunas razones que veremos luego, en ciertos casos es conveniente conocer la forma del embrión en determinada especie, la ubicación y zona que ocupa en la semilla.

En muchas especies el embrión está completamente rodeado por el endosperma, y junto a la testa seminal, puede resultar en una barrera física para la germinación. En ciertos casos, la germinación o su ausencia es la resultante de dos fuerzas contrapuestas: la radícula pujando por emerger, y la resistencia que ejercen la testa y/o el endosperma.

## Multiplicarse, resistir y dispersarse

Podríamos decir que la semilla cumple tres roles principales: (1) es el resultado de la reproducción sexual<sup>4</sup>, y por tanto además de producir un nuevo individuo ('multiplicación'), éste tendrá algunas características genéticas de sus progenitores, pero no será idéntico a ninguno de ellos sino con una nueva combinación de genes ('recombinación génica'); (2) en muchas especies, la semilla representa un estado de resistencia a las condiciones ambientales adversas (v.g. bajas temperaturas, sequía). Por su bajo contenido en agua (ya volveremos a esto más adelante) la semilla puede resistir hasta que las condiciones del medio sean las adecuadas para el establecimiento de la nueva plántula. Ejemplos de esto son las semillas en regiones con muy bajas temperaturas en climas templado-fríos (incluso con presencia de nieve en el suelo durante el invierno) o con eventos de sequía invernales en climas monzónicos (lluvias estivales) etc. (3) la tercera función de la semilla es la dispersión (decimos que es una 'diáspora' o 'propágulo'), aunque en algunos casos el fruto completo (con sus semillas en el interior) es la estructura que se dispersa. Debemos recordar que las semillas y frutos pueden dispersarse de diversas maneras. Puede ser por acción del viento ('anemocoria') tales como las semillas o frutos alados (v.g. 'sámaras' de fresnos, arces, tipas, muchas bignonias); también los 'vilanos' o 'papus' (popularmente conocidos como 'panaderos') de algunas compuestas (*Asteraceae*) se dispersan por el viento llevando un fruto uniseminado. Otras especies se transportan por la acción de animales ('zoocoria') ya sean mamíferos o aves que comen los frutos y dispersan sus semillas con sus deyecciones.

Ahora bien, la gran mayoría de las semillas (aunque no es universal, como veremos luego) poseen dos características:

- El embrión está en un estado de reposo (es decir, el metabolismo y el crecimiento se hallan detenidos, momentáneamente suspendidos).
- Poseen bajo contenido porcentual de agua, entre un 5-10 % de su peso (comparemos con el contenido de agua de órganos en la planta: por ejemplo, una hoja posee cerca del 90% de agua).

Ambas características (reposo del embrión y tejidos deshidratados) son cruciales no solo para la biología de las plantas (capacidad de resistir condiciones adversas), sino poseen también

---

<sup>4</sup>En algunas angiospermas, la semilla se forma de manera asexual, en un fenómeno conocido como apomixis.

tienen gran relevancia para el ser humano: el comienzo de las culturas y civilizaciones habitando en poblaciones estables (muy vinculado al nacimiento de la agricultura) estuvieron fuertemente relacionadas a la posibilidad de almacenar semillas ‘no perecedoras’ (v.g. granos de cereales), tanto para su consumo posterior, así como para ser sembradas y originar nuevos cultivos en la estación siguiente.

Sin embargo, no todas las semillas responden a estos atributos, por lo que es un buen momento para introducir el concepto de semillas ortodoxas y recalcitrantes, tal como discutiremos en la sección siguiente.

## Fuera de la ‘norma’: semillas ortodoxas *versus* recalcitrantes

El tipo de semillas que describimos en la sección anterior (con muy bajo contenido de agua) se denominan ‘**ortodoxas**’, en contraposición a las semillas ‘**recalcitrantes**’, las cuales no toleran bajos niveles de hidratación. Asociado a esta característica, las semillas recalcitrantes poseen baja longevidad (viven relativamente poco tiempo en términos comparativos con las ortodoxas; ver sección más adelante) y no toleran temperaturas muy bajas. La recalcitrancia es frecuente en especies tropicales, aunque no está exclusivamente acotada a este grupo. Dentro de las especies de cultivo, el mango, la palta, la nuez, el cafeto, los cítricos, algunos *Quercus* son ejemplos de especies que poseen semillas de tipo recalcitrante. La gran mayoría de los cultivos (cereales, oleaginosas, hortalizas), por otro lado, poseen semillas ortodoxas que pueden almacenarse bastante tiempo en ambientes secos y fríos. La distinción entre ambos tipos de semilla, tal como veremos en la sección correspondiente, es crucial a la hora de decidir las condiciones y los tiempos de almacenamiento para maximizar la vida de la semilla y la posibilidad de regenerar una nueva planta. A manera de adelanto podemos decir que las semillas recalcitrantes poseen escasa longevidad (viven poco tiempo) y no soportan condiciones de baja humedad y de bajas temperaturas.

El contenido de agua se va reduciendo paulatinamente en la maduración (en la planta madre) de las semillas ortodoxas, hasta llegar a los bajos valores descritos anteriormente (en el rango entre 5-10 % aproximadamente, variable según la especie). Junto a esta deshidratación, suceden otros cambios que son fundamentales para la tolerancia a la deshidratación: uno de esos cambios es la aparición (síntesis) de unas proteínas de naturaleza hidrofílica (‘con afinidad al agua’) llamadas LEA <sup>5</sup> que están muy vinculadas a que el embrión soporte esos niveles tan bajos en el contenido de agua. De hecho, las semillas recalcitrantes no poseen este tipo de proteínas, las cuales protegen a las estructuras celulares en las semillas ortodoxas durante el tiempo que permanecen secas.

---

<sup>5</sup>LEA, del inglés ‘*Late Embryogenesis Abundant*’, Estas proteínas son llamadas así porque aparecen tardíamente (‘*Late*’) en el desarrollo del embrión y la semilla. Son proteínas con predominancia de aminoácidos hidrofílicos (con afinidad por el agua), lo que les confiere la capacidad de proteger a las estructuras de la célula en estado de deshidratación de los tejidos.

Antes de continuar e introducirnos en la germinación (o más bien, procesos que impiden la misma tales como la quiescencia y la dormición), en la sección siguiente vamos a definir dos conceptos más: ‘viabilidad’ y ‘longevidad’. Describiremos en esa sección el test más universalmente utilizado para ensayar la viabilidad (‘test topográfico del tetrazolium’) y dar algunos *tips* para mejorar la longevidad de semillas almacenadas.

## ‘¿Vivas?’: Viabilidad y longevidad

La **viabilidad** se refiere a la condición de una semilla en que el embrión está vivo y con capacidad potencial de germinar (una vez superadas la dormición y quiescencia) y establecerse como una planta. Es posible en ciertos casos que, aunque parte del embrión esté vivo, otras partes han muerto y por ende éste no será capaz de germinar y crecer. Ahora bien, conocer la viabilidad en un lote de semillas de cultivos es crucial a la hora de emprender un cultivo (necesitamos saber, básicamente si un lote de semillas está en buenas condiciones) o de mantener semillas en un banco de germoplasma<sup>6</sup>. ¿Cómo podemos saber si un lote de semillas es viable o no? Podría pensarse que un test de germinación sería adecuado: observamos cuántas germinan (o no) luego de someterlas a condiciones adecuadas para la imbibición y de temperatura. Sin embargo, esta forma de chequear la viabilidad solo será posible si la especie no posee dormición (por ejemplo, muchos cereales, hortalizas). De existir algún tipo de dormición, si las semillas no germinan no podremos saber si se trata que las semillas están muertas (no viables) o bien que están en reposo por cuestiones endógenas (‘dormidas’). En los casos puntuales en que se conoce que la semilla de la especie posee dormición impuesta por la testa o el endosperma, el embrión puede germinarse extrayéndolo de la semilla y así verificar su viabilidad.

Sin embargo, la forma más universalmente utilizada para chequear la viabilidad en semillas es el ‘**test topográfico del tetrazolium**’. Esta prueba consiste en someter al embrión (por ende, se trabaja con semillas cortadas de manera que éste quede expuesto) a la incubación con una solución de trifeniltetrazolium (TZ a partir de ahora). La solución de este compuesto en estado oxidado es incolora (transparente) y al entrar en contacto con tejidos vivos del embrión, ciertas enzimas del mismo (deshidrogenasas) convertirán (reducción química, en este caso con la incorporación de hidrógenos) al tetrazolium en un compuesto color rojo insoluble (‘formazano’). De esta manera, el embrión (o parte del mismo) estuviera muerto, la reacción química no se producirá. Así podemos distinguir embriones muertos (permanecerán blancos o incoloros) respecto de embriones vivos, los cuales se colorearán de un rojo intenso<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup>Los bancos de germoplasma son instituciones que se encargan de resguardar biodiversidad en forma *ex situ*. Pueden ser resguardar semillas, cultivo *in vitro* de algas, microorganismos etc. En el caso de bancos de semillas, estos pueden tener germoplasma de variedades y cultivares de especies de interés agronómico o bien contener ‘accesiones’ (ingresos, colectas) de especies nativas de una región. En general, cada banco de germoplasma se especializa en algún tipo de organismo en particular. Para poder cumplir con su función deben ‘repicar’ (reproducir) periódicamente su material para asegurar su continuidad en el tiempo.

<sup>7</sup>El endosperma no se colorea con esta reacción del TZ, por lo que es perfectamente normal observar al embrión viable fuertemente coloreado de rojo, mientras que el endosperma permanece blanco.

Los pasos generales para la realización de la prueba del TZ serían los siguientes: (1) Se remueven cubiertas duras (2) Se embeben las semillas previamente (el tiempo depende del tipo de semilla); (3) Se cortan las semillas para exponer al embrión; (4) Se incuban en la solución de TZ (solución 0.5 a 1 %, durante una a varias horas, en general 28°C<sup>8</sup>); (5) Se observan los embriones (lupa binocular o lupa de mano), cuya interpretación de la viabilidad depende de la especie.

Debemos aclarar que las semillas utilizadas en el test como muestra de nuestro lote (ya sean semillas que recolectamos, o que obtuvimos de cultivos propios, o bien de sobres de semillas adquiridas en comercios) ya no servirán con fines de multiplicación: simplemente son nuestra 'sonda' para caracterizar la población de semillas que queremos analizar. Si bien el propagador aficionado quizás nunca realice personalmente la prueba del tetrazolium (eso dependerá de su interés y la profundidad de su actividad), es interesante que conozca esta prueba de la cual puede leer referencias en la bibliografía o en páginas web especializadas, y así poder comprender su significado y utilidad. Las ventajas del test del TZ radican en que es relativamente rápido, da una buena estimación de la viabilidad potencial y se pueden detectar deterioros en los embriones aún antes que haya merma de poder germinativo (ver sección correspondiente). Sus desventajas residen en que es algo laborioso para analizar muchas muestras, tiene una interpretación (relativamente) subjetiva si no se tiene experiencia, y no puede detectar deterioros menores (v.g. presencia de patógenos fúngicos).

El otro concepto que queremos introducir en esta sección es el de **longevidad**, el cual se refiere al tiempo máximo en que las semillas pueden mantenerse viables, y por ende con capacidad para germinar. En la bibliografía mucho se habla de los tiempos récord en que han permanecido viables semillas de algunas especies. Por ejemplo, se han citado casos de semillas de *Nelumbo nucifera* (nenúfar) que permanecieron viables durante 2 siglos (halladas en Manchuria). Por otra parte, el supuesto caso de semillas de lupino ártico *Lupinus articus* halladas en Canadá (Yucón) junto a restos de un cráneo de roedor de 10.000 años de antigüedad (citado por Montaldi en 1995 en su texto, ver cita al final) ha resultado ser erróneo; al parecer las semillas habían sido enterradas en 1950 y mal datadas. Más allá que es difícil conocer la antigüedad real de muchas semillas, una longevidad prolongada en diversos casos puede explicarse porque estaban en suelo congelado y seco. Sin embargo, existen pocos casos bien documentados, con bibliografía que describa y respalde los reportes de tales longevidades. Un caso bien conocido es el de semillas de *Canna* sp. ('achira') recuperadas de un sonajero en un sitio arqueológico en Santa Rosa de Tastil (Salta, Argentina). Investigadores de la UNLP (de lo que sería en el futuro el Instituto de Fisiología Vegetal en La Plata, actualmente INFIVE) pudieron germinar alguna de estas semillas, las cuales fueron datadas (por la técnica de <sup>14</sup>Carbono) con una antigüedad de cerca de 550 años<sup>9</sup> (ver cita del artículo de Sivori).

---

<sup>8</sup>Ésta es una temperatura orientativa, pero cuando no se cuenta con instalaciones para controlar esa variable (v.g. estufas de germinación) puede colocarse el recipiente (pequeño frasco con la solución de TZ y las semillas sumergidas) dentro de otro recipiente conteniendo un poco de agua tibia, y así acelerar la reacción.

<sup>9</sup>El hallazgo de estos investigadores (Sivori y Nakayama, fisiólogos vegetales y Cicliano, arqueólogo) fue publicado en la prestigiosa revista científica *Nature* (1968). Las semillas se encontraban dentro de un sonajero de 'nuez criolla' de *Juglans australis*. Un aspecto importante en este caso notable de longevidad es el tipo de semilla de *Canna* ('achira'), con cubierta muy dura e impermeable. Por otro lado, las condiciones ambientales del sitio en Sta. Rosa de Tastil (muy baja humedad

Ahora bien, más allá de estos casos resonantes de longevidad, el lector interesado en propagación se preguntará *‘¿cuánto tiempo pueden vivir las semillas?’* La respuesta a esta pregunta es compleja (y muy variable según la especie considerada), aunque intentaremos dar algunos lineamientos que nos permitan mejorar la longevidad de las semillas que nos interese conservar en buen estado. Más que el tiempo exacto de longevidad (algo virtualmente imposible de generalizar), trataremos de orientar al lector acerca de las condiciones de almacenamiento en que elegiremos conservar nuestras semillas de interés.

## ¿Qué condiciones de almacenamiento elegir?

Hablando de semillas ortodoxas, existen dos *tips* orientativos que se pueden resumir de la siguiente manera y conocidas como **‘reglas de Harrington’** (ver la cita al final del capítulo del texto de ‘Hartmann’):

1. La longevidad se duplica por cada 1% de disminución de la humedad de la semilla (entre 5 y 15 %).
2. La longevidad se duplica por cada 5° C de disminución de la temperatura de almacenamiento (entre 0 y 50 ° C).

Es decir, la humedad y la temperatura en que decidiremos almacenar nuestras semillas son factores determinantes de la longevidad, y que debemos tener muy en cuenta. Según estas ‘reglas’, por ejemplo, si almacenamos semillas a 10 ° C tendremos una longevidad del doble que si las almacenamos a 15 °C. Obviamente, esto es válido para semillas ortodoxas y solo en sentido general, tal como mencionamos anteriormente. Las semillas recalcitrantes, muchos menos longevas, deben almacenarse a altas humedades relativas y temperaturas no muy bajas, y aun así su longevidad será limitada. Insistimos que las ‘reglas de Harrington’ descritas más arriba son solo orientativas y su validez dependerá mucho del tipo de semilla y la especie que nos interese almacenar. Un tercer factor adicional es el nivel de oxígeno: en general, aunque variable según las especies, niveles bajos de la concentración de O<sub>2</sub> suele prolongar la longevidad de semillas.

En términos generales, en el caso de semillas ortodoxas lo recomendable es guardarlas en heladera (‘nevera’) o en cámara fría si se requieren grandes volúmenes. Temperaturas entre 0 y 5 °C (o algo mayores, hasta 8 °C si no pueden lograrse las temperaturas citadas) a baja humedad relativa (40% o menores) son recomendadas. Para lograr una atmósfera con baja humedad en los recipientes herméticos, un truco accesible para el aficionado es el uso de gel de sílice (*‘silicagel’*, un absorbente de humedad<sup>10</sup>). Si no se dispone de un lugar refrigerado para el

---

relativa), sumado a la protección del endocarpio lignificado de la nuez, probablemente influyeron en el buen mantenimiento de la viabilidad de los embriones durante más de cinco siglos.

<sup>10</sup>El gel de sílice o silicagel (con algún indicador de color del estado de humedad) se usa frecuentemente para proteger instrumentos ópticos; es relativamente económico adquirido ‘a granel’. Cuando ya está húmedo, se lo recicla calentándolo en una estufa a ≈ 60 °C.

almacenamiento, las semillas deben guardarse en lugares frescos y con la menor humedad posible, en lo posible con el auxilio de este o algún otro tipo de desecante. Sin embargo, claramente la longevidad de las semillas será mucho menor respecto a almacenamientos en sitios refrigerados.

Existen diferentes modelos matemáticos que intentan predecir la longevidad de las semillas, considerando variables tales como la viabilidad inicial, temperatura y humedad (junto a otras magnitudes, tales como los niveles de oxígeno). Algunos estudios en semillas ortodoxas (ver bibliografía específica al final del capítulo) muestran que almacenadas en condiciones óptimas (las recomendadas por el banco de germoplasma, para esa especie en particular), la vida media<sup>11</sup> de las semillas puede ser de 40-60 años, aunque con gran variación interespecífica. Almacenadas a condiciones ambientales no controladas, por el contrario, la vida media puede reducirse considerablemente, a unos pocos años (5-10 años). Condiciones muy particulares de almacenamiento, tales como congelación a -20 °C en bolsas especiales (en general, muestras usadas como 'duplicados de seguridad' en los bancos de semillas), puede aumentar sensiblemente la longevidad. Aunque no lo desarrollaremos aquí, también pueden impactar en la longevidad las condiciones durante la maduración de la semilla y la manipulación en la cosecha. Los interesados, pueden consultar el manual de la FAO *Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture* (2014) citado al final del capítulo.

Por otra parte, y más allá de las condiciones de almacenamiento: ¿Qué rasgos o atributos de la semilla influyen en la longevidad? El primer atributo que tenemos que considerar es si la semilla es ortodoxa o recalcitrante, tal como ya hemos descripto (recordemos que las recalcitrantes poseen baja longevidad). Además, serán más longevas semillas con cubiertas duras y con reposo de algún tipo (sea quiescencia o dormición), con sustancias de reserva no lipídicas (los lípidos o grasas, en particular los 'no saturados' tienden a oxidarse con el paso del tiempo y se deterioran), con reducido metabolismo y respiración, presencia de metabolitos secundarios (en particular sustancias de 'defensa' contra organismos patógenos), poseer una alta tolerancia a la deshidratación y a las bajas temperaturas, entre otros caracteres.

## ¿Cómo medir el grado de germinación?

La medida más ampliamente utilizada para cuantificar la germinación de un lote de semillas es el 'poder germinativo' (PG) o 'porcentaje de germinación'. Este parámetro es simplemente el cociente entre el número de semillas efectivamente germinadas (en un período razonable para la especie considerada) y el número total de semillas que se testearon en el ensayo (v.g. test realizado en cápsulas de Petri con papel humedecido, a T° constante), y multiplicado por 100 (para ser expresado como porcentaje).

Por ejemplo, si testeamos 150 semillas de un lote, y germinaron 110, el PG será:

---

<sup>11</sup>La vida media en semillas almacenadas ( $P_{50}$ ) es el tiempo (años) en que la viabilidad inicial del lote cae en un 50%.

$$PG = (110/150) \times 100 = 73,3 \%$$

El tiempo que se estandariza para considerar si la semilla germinó o no, debe ser adecuado a la especie en cuestión, ya que existe variabilidad en este sentido. Semillas de diversas especies de cultivo, en estufa de incubación a 28 °C germinan en 24-48 hs., pero otras especies pueden demorar más tiempo (varios días).

Tal como dijimos más arriba, este tipo de test del PG solo puede estimar la viabilidad en el caso de especies que no tengan dormición (o que la tengan, pero ya haya sido liberada de la misma). Como muchas especies de cultivo cumplen con esta condición (no tienen dormición o ésta es muy superficial), el PG suele ser un buen estimador del estado de conservación y calidad de un lote de semillas. Para agricultores (y en más aún en cultivos extensivos), es un dato fundamental que el productor necesita conocer para planear su siembra (cálculos en la carga en la tolva de la sembradora etc.).

## ¿Por qué una semilla viable no germina?: quiescencia y dormición

En secciones anteriores dijimos que una de las características de las semillas (al menos de las ortodoxas) es que posee un embrión en reposo, es decir con el crecimiento detenido (metabolismo muy reducido, respiración indetectable o muy baja, ausencia de divisiones celulares etc.). En primer lugar, el reposo o latencia puede ser debido a factores externos (ambientales) tales como la falta de humedad, temperatura o de ciertos gases (v.g. oxígeno). Este reposo impuesto externamente se denomina '**quiescencia**', de acuerdo a la terminología que seguimos en este libro (≈'eco-dormancia'<sup>12</sup> de otros autores). Por ejemplo, las semillas de trigo o maíz que el agricultor tiene en bolsas listas para ser sembradas, están en un estado de quiescencia. El reposo se eliminará cuando esas semillas se siembren en el campo, en un suelo con una humedad adecuada y temperatura en cierto rango. O sea, el embrión de esa semilla se encontraba quiescente, cuya germinación estaba impedida principalmente por falta de humedad. Cuando este impedimento es eliminado, el reposo finalizará. Otros casos similares son las semillas que podemos comprar en los viveros (v.g. sobres de semillas de hortalizas, especies florícolas etc.): se puede hacer un almácigo de tomate, por citar un ejemplo, simplemente poniendo las semillas en sustrato húmedo y a una temperatura adecuada.

Sin embargo, en muchos casos, semillas viables no germinan aun poniéndolas en condiciones óptimas (para la especie en cuestión) de humedad y temperatura y de disponibilidad de oxígeno. ¿Qué está sucediendo? Si esas semillas están vivas y dado que claramente no se trata de quiescencia: ¿por qué no germinan? En este caso, existen factores internos a la propia

---

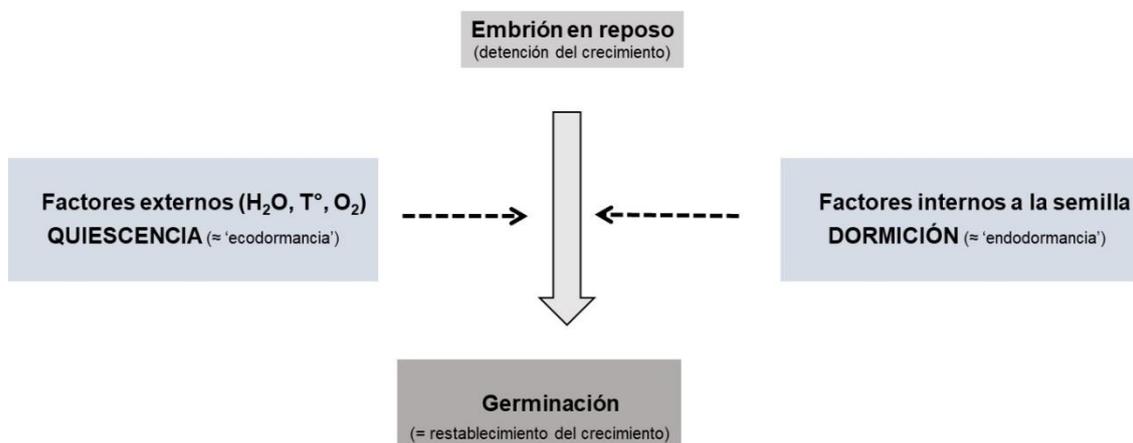
<sup>12</sup> La terminología utilizada en el estudio de la germinación es variable según el autor considerado y la fuente bibliográfica, no habiendo un acuerdo generalizado en la misma. En el presente capítulo intentamos dar algunas equivalencias de términos que usan otros autores, sin entrar en detalles semánticos.

semilla que impiden la detención del reposo (o dicho de forma simple, impiden la germinación) y en estos casos hablamos de **'dormición'** ('endodormancia' para otros autores). Ya no se trata simplemente de falta de humedad o temperatura adecuadas, sino que la dormición es intrínseca, es interna a la propia semilla y no meramente de origen ambiental.

Antes de pasar a la siguiente sección, debemos mencionar que, al margen del concepto de dormición (= 'dormancia') que hemos descrito (regulado por factores internos), existen diferentes definiciones en la bibliografía, no todas coincidentes entre sí y no exentas de cierta arbitrariedad. Por ejemplo, Hartmann y col (2014) definen dormición como "la ausencia de germinación en semillas viables, cuando las condiciones son favorables para la misma" (se puede ver otras definiciones en Hilhorst, 2007). Quizás más específica (y que suscribimos aquí) es la definición del especialista argentino en el tema, Roberto Benech-Arnold (2000) que conceptualiza a la dormición como 'una condición interna de la semilla que impide su germinación bajo condiciones hídricas, gaseosas y térmicas adecuadas'. Es importante recalcar que siendo rigurosos, y tal como remarca el autor mencionado, la liberación de la dormición no debe ser confundida con la germinación, ya que ambos procesos ocurren en distinta escala temporal y pueden ser afectadas por factores diferentes. Por ejemplo, una semilla puede requerir temperaturas bajas para romper su dormición, pero necesitar posteriormente temperaturas más altas para que la germinación efectivamente ocurra.

Pero, más allá de la cuestión semántica mencionada más arriba, podemos preguntarnos ¿Cuáles son las causas de la dormición? ¿Por qué razones fisiológicas una semilla no germina inmediatamente? Aunque muchos aspectos no son aún conocidos por la ciencia (y los que sí se conocen, por su complejidad, escapan al alcance de este libro), intentaremos de todas maneras describir un breve panorama de este tema en las próximas secciones (Figura 4.1).

**Figura 4.1**



*Nota.* Esquema simplificado del pasaje del embrión en estado de reposo, a un estado en activo crecimiento (germinación), transición que es regulada por un lado por factores ambientales como la hidratación, la temperatura y oxígeno (fenómeno denominado como 'quiescencia' en este texto y similar al término 'ecodormancia' de otros autores). Cuando los factores son intrínsecos a la propia semilla, hablamos de 'dormición' (≈ 'endodormancia' de cierta bibliografía). Un caso

especial es el fotoblastismo de semillas (no mostrado en la figura). Según la definición que se adopta aquí (ver texto principal), el fotoblastismo se encuadraría también dentro de la dormición ('fotodormancia'). (Elaboración propia).

## Tipos de dormición en semillas

Existen varios tipos de dormición, los cuales se pueden clasificar según diferentes criterios: (1) según las causas subyacentes que explican la dormición; (2) según el grado de 'profundidad', o sea cuan intensamente 'dormidas' están esas semillas y (3) según si la dormición ya proviene desde la planta madre, o fue adquirida con posterioridad. En primer lugar, vamos a analizar detalladamente el criterio (1), para posteriormente describir más someramente los criterios (2) y (3).

### Tipos de dormición según las causas

Una de las causas frecuentes de dormición es la presencia en la semilla de **cubiertas (testas) duras** y/o impermeables que, o bien impiden la protrusión ( $\approx$ salida) de la radícula, o bien directamente imposibilitan la entrada de agua necesaria para la imbibición. También en algunas especies la cubierta puede impedir el intercambio gaseoso con el exterior. Este tipo de dormición por cubiertas duras es frecuente en muchas especies de plantas, por ejemplo, numerosas 'leguminosas' (Familia *Fabaceae*) nativas de Argentina tales como los *Prosopis* (algarrobos, etc.), *Enterolobium contortisiliquum* ('timbó' o 'pacará'), acacias y muchas otras especies. También es típica de otros grupos taxonómicos de plantas, por ejemplo, especies del género *Canna* ('achiras'), el ejemplo que dimos de uno de los casos récord de longevidad (ver sección correspondiente). Como veremos más adelante en otra sección ('*Despertando a las semillas: tratamientos pre-germinativos*') este tipo de semillas típicamente deben ser 'escarificadas' para lograr la germinación (es decir, la cubierta debe ser adelgazada o eliminada artificialmente al menos en un sector, sea por medios físicos o químicos). Esta forma de dormición por cubiertas duras ('**dormición física**') es probablemente la causa más frecuente que impide a ciertas semillas germinar. Es interesante que, por ejemplo, 'porotos' nativos (*Phaseolus*) de Argentina y otras regiones de América, requieren escarificación para germinar. Sin embargo, los 'porotos' cultivados (variedades comerciales de *P. vulgaris*) germinan perfectamente con solo hidratarlos, sin necesidad de este tratamiento. La dormición es un fenómeno que en muchos casos se ha perdido (evolutivamente hablando) con la domesticación por parte del ser humano: con siglos de cultivo y selección, hemos impuesto presiones selectivas multiplicando preferentemente líneas ('variedades') que no poseen dormición o ésta es muy superficial (tener en cuenta que la dormición puede ser un obstáculo a la hora de germinar y multiplicar plantas). Lo que ecológicamente hablando podría considerarse una adaptación beneficiosa (la dormición permite

resistir condiciones adversas y ajustar la especie al ambiente), al propagador/cultivador le puede complicar la multiplicación de una especie. El ser humano ha modificado genéticamente (mucho tiempo antes de los transgénicos, a través de selección y cruzamiento) a las plantas y animales para su beneficio, y la dormición de semillas es uno de los rasgos que han sido manipulados y seleccionados (eliminada o atenuada).

Otra causa de dormición (mucho menos frecuente que la anterior) es la **presencia de embriones inmaduros o aún rudimentarios**, frecuente en orquídeas (Familia *Orchidaceae*). Otros ejemplos son la semilla de *Ginkgo biloba*, y la 'zanahoria' (*Daucus carota*). Es necesario para que la semilla germine, permitir que el embrión crezca y se desarrolle, y esté capacitado para formar una plántula luego de la germinación. Como veremos en una sección más adelante, este tipo de dormición puede resolverse mediante almacenamiento húmedo a bajas temperaturas ('estratificación', un tratamiento que también se usa para romper otros tipos de dormición; ver sección de 'Tratamientos pre-germinativos'). La ausencia de germinación por embriones inmaduros es conocida también como '**dormición morfológica**' por algunos autores, y es quizás la menos frecuente de los diferentes tipos de dormición.

El tercer tipo de dormición (continuando con el criterio de clasificación en base a las causas) es explicada por la presencia **de inhibidores** (en el propio embrión, o por fuera de éste) de diferente naturaleza química. Este tipo de dormición (también llamada '**fisiológica**') es el tipo de reposo más ampliamente extendido entre las semillas de innumerables especies. Con fines didácticos podemos distinguir dos subtipos de dormición fisiológica: **(a) Balance hormonal**, que proviene de la acción contrapuesta entre dos tipos de hormonas, unas que estimulan la germinación (**giberelinas**) y otra hormona que promueve la dormición (ácido abscísico, más conocido como **ABA**). El ABA es una hormona que en general es promotora de la dormición (inhibe el crecimiento, o sea, promueve el reposo), tanto en semillas como en yemas de árboles<sup>13</sup>. Los niveles de ABA en la semilla van aumentando progresivamente durante la maduración en la planta madre, siendo máximas las concentraciones en la semilla durmiente. Las giberelinas, por el contrario, son antagonistas del ABA en este proceso, es decir rompen la dormición (*i.e.* promueven la germinación) y su nivel (concentración tisular) aumenta hacia el final de la dormición. Si simplificamos un poco la cuestión, podemos considerar que la dormición se romperá (o no) dependiendo del balance entre ambos tipos de hormonas: si en el balance predomina la acción del ABA, la semilla seguirá en dormición; si, por otro lado, predomina la acción de las giberelinas, la semilla germinará. Si bien esta es una visión algo simplificada con fines didácticos, es una buena aproximación para entender este tipo de dormición fisiológica regulada por balance hormonal. Por esta razón, en ocasiones un posible tratamiento para germinar semillas complicadas, es mediante la aplicación de giberelinas: realizamos una aplicación exógena de esta hormona, inclinando el balance hacia donde nos interesa como 'propagadores'. Una forma más natural (aunque más lenta pero ampliamente usada) de modificar este balance hormonal, es mediante la 'estratificación' (almacenamiento húmedo a bajas

---

<sup>13</sup>Otro efecto fisiológico muy relevante del ABA es el cierre de los estomas en hojas de plantas sufriendo déficit hídrico. Por esta razón, varios mutantes deficientes en ABA (*v.g.* en tomate, en maíz) presentan viviparismo (ver página siguiente) en sus semillas, y por otro lado, la planta muestra marchitez en condiciones de déficit hídrico aún leve.

temperaturas), tal como veremos más adelante. Durante este tratamiento de estratificación, los niveles de ABA se reducen paulatinamente en las semillas tratadas, incrementándose posteriormente los niveles de giberelinas (promoviendo la germinación si el tiempo y la temperatura de almacenamiento fueron los adecuados). Volveremos a esto en la sección donde se discuten los tratamientos pre-germinativos. Puede verse un esquema de este balance hormonal en la Figura 4.2.

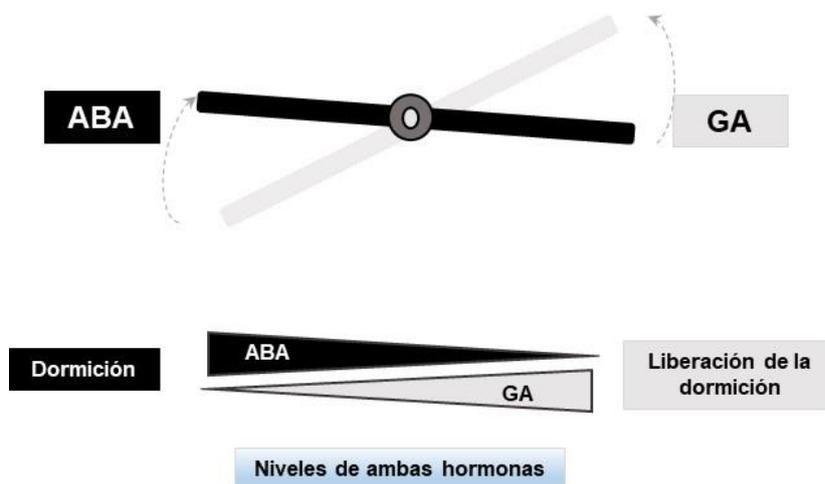
Un aspecto interesante que debemos mencionar es que el aumento del ABA durante la maduración en la planta madre es propio de semillas ortodoxas: en semillas recalcitrantes (donde no hay deshidratación importante durante la maduración de la semilla), este aumento de ABA no se produce o se produce de manera más leve. Por otro lado, existen genotipos (v.g. mutantes naturales) que poseen **viviparismo**, es decir, germinan en la propia planta madre o en el fruto. Todos hemos visto alguna vez un fruto de un cítrico (v.g. limón) con semillas germinando en su interior, por citar un caso posible. Los agricultores, por otro lado, conocen la indeseable germinación de granos de trigo en la propia espiga ('brotado', o '*sprouting*' en bibliografía anglosajona) y que puede causar pérdidas de rendimiento si ocurre en forma generalizada. En general, el viviparismo suele estar relacionado a bajos niveles de ABA en la semilla (v.g. mutantes deficientes en esta hormona) aunque es un fenómeno de naturaleza compleja y también genéticamente determinada. Por otro lado, en ciertas especies (en particular en los 'mangles') el viviparismo es algo normal y relacionado a la ecología de esas especies: la semilla germina y la plántula (ya en crecimiento) cae desde la planta madre, para dar un nuevo individuo. Al parecer esta es una adaptación al ambiente de aguas salobres (estuarios de regiones tropicales) donde viven especies del género *Avicennia* ('mangle negro') o *Rhizophora mangle* ('mangle rojo'). Como se podría suponer, los niveles de ABA en los mangles son más bajos que en semillas ortodoxas, lo cual es consistente con su comportamiento vivíparo.

(b) El segundo subtipo de dormición fisiológica (y al margen del balance hormonal que hemos descripto anteriormente) se explica por presencia de **inhibidores de diferente naturaleza química**, principalmente de tipo hidrosoluble. Por ejemplo, la parte 'pulposa' de muchos frutos suelen ser inhibitorias de la germinación de las semillas, tal como ocurre con las especies de la familia *Cucurbitacea* (familia que incluye al zapallo, pepino, melón etc.), los *Citrus*, manzana, pera, tomate, uvas y muchos otros casos. Otro ejemplo muy interesante es el de los inhibidores hidrosolubles en muchas plantas efiméricas de desiertos extremos: una lluvia muy intensa (aunque esporádica en estos ambientes de aridez extrema) será una 'señal ecológica' para estas semillas, y el lavado de estos inhibidores hidrosolubles por una lluvia suficientemente importante permitirá no solo la germinación, sino que también asegurará el rápido crecimiento vegetativo y reproductivo de estas 'efímeras de desierto' de ciclo vital muy corto, encontrando agua disponible en gran parte del perfil del suelo, no así, si la lluvia no es intensa y la planta no llega a dejar descendencia.

Finalmente, y para finalizar esta sección, diremos que los tipos de dormición que hemos descripto (según sus causas), pueden combinarse y tenemos así existen semillas con 'dormición morfo-fisiológica', por citar un caso. Es decir, en este tipo combinado de dormición, el embrión

es inmaduro, y además posee inhibidores de algún tipo que impiden la germinación. También puede haber, tan solo por citar otro ejemplo, semillas con dormición física-fisiológica, es decir, que presenten cubiertas duras o impermeables, y además estar en reposo por un balance hormonal favorable al ABA (Figura 4.2).

**Figura 4.2**



*Nota.* En la parte superior se muestra el balance hormonal entre el ácido abscísico (ABA) y las giberelinas (GA) determinando la dormición (relación ABA/GA alta) o la liberación de la dormición (relación ABA/GA baja), en una analogía con un 'subibaja' (balancín). Además de los niveles (concentraciones) hormonales, puede modificarse la sensibilidad de los tejidos a estas hormonas. En la parte inferior de la figura se muestran los cambios en los niveles hormonales (como triángulos decreciente o creciente) entre dormición y rotura (liberación) de la misma. (Elaboración propia).

## **Tipos de dormición según el grado, y según el momento de adquisición**

La dormición, más allá de las causas que hemos analizado en la sección anterior, pueden clasificarse también según si ésta es más o menos profunda ('grado de dormición'):

- a. **Dormición superficial:** requieren nula o corta 'estratificación' (o bien maduración en seco; ver más adelante): Es el caso de muchas semillas de especies de cultivo. Este tipo de dormición leve y corta, impide que la semilla germine en la planta madre (o sea, que haya 'viviparismo' tal como hemos explicado en la sección anterior).
- b. **Dormición 'intermedia':** requieren una estratificación de 1 a 3 meses de duración.
- c. **Dormición profunda:** necesitan varios meses (3 a 5) de estratificación para poder germinar.

Finalmente, y aunque no profundizaremos este tema aquí, también podemos mencionar otro criterio de clasificación, según el momento de adquisición de la dormición. Hablamos de **dormición primaria** cuando ya la dormición fue adquirida en la planta madre. Es decir, la semilla ya está dormida desde el momento de la dispersión. Por otro lado, la **dormición secundaria** ocurre con posterioridad si las condiciones ambientales no son adecuadas para germinar. Dicho de otra manera, la dormición secundaria se produce cuando una semilla (ya liberada de su dormición primaria, *i.e.* la que traía desde su origen), al no germinar (por existir condiciones adversas que promueven la quiescencia, *v.g.* falta de agua o de temperatura adecuada) entra en un nuevo estado de dormición. Es decir, aunque ahora tenga condiciones para germinar, ésta no ocurrirá, ya que la semilla entró en dormición secundaria. En la naturaleza, algunas semillas pasan por ciclos de 'dormición-no dormición' que pueden repetirse durante años hasta que la germinación finalmente ocurra.

En los bancos de semillas del suelo existe mucha variabilidad en los requerimientos y tiempos de dormición en las semillas de una misma especie. Esta heterogeneidad en la germinación puede considerarse una estrategia ecológicamente adaptativa (fenómeno llamado 'división de apuesta' o como se dice coloquialmente, *'poner los huevos en diferente canasta'*) ya que representa un reaseguro para la supervivencia de la descendencia<sup>14</sup>.

## Semillas que despiertan con la luz ('fotoblastismo positivo')

Existen especies cuyas semillas responden a la luz (fenómeno conocido como **fotoblastismo**) y cuya germinación puede ser promovida (fotoblastismo positivo) o bien (más raramente), inhibidas por la luz (fotoblastismo negativo). Antes de continuar, debe aclararse que las semillas fotoblásticas no constituyen una mayoría en los miles de especies existentes, pero sí es un fenómeno relevante en la germinación de muchas de ellas.

Una cosa que el lector puede preguntarse es: ¿de qué manera la semilla percibe la luz? Pues bien, la percepción de luz en la semilla es realizada con un pigmento fotorreceptor llamado **fitocromo**. Aunque aquí no entraremos en demasiado detalle de aspectos fisiológicos (el fotoblastismo de semillas es un fenómeno complejo y diverso que excede los alcances de este libro), vamos a explicar los fundamentos de esta respuesta en la subsección siguiente.

## Percepción de la luz en semillas fotoblásticas

---

<sup>14</sup>Si las semillas de una especie que están enterradas en el suelo germinaran todas juntas, se podría correr el riesgo que mueran las plántulas ante alguna adversidad eventual (*v.g.*, una sequía o una helada). Sin embargo, si germinan en diferentes momentos y condiciones, se aumenta la probabilidad que alguna tanda de plántulas pueda sobrevivir (*i.e.* se aumenta la diversidad de la 'apuesta').

En la oscuridad el fitocromo (pigmento fotorreceptor, constituido por una proteína unido a un grupo químico llamado cromobilina<sup>15</sup>) se encuentra en una forma inactiva en el citoplasma celular. Esta forma inactiva se conoce como  $P_r$  (' $P$ ' por '*Phytochrome*' y ' $r$ ' porque absorbe sobre todo la parte roja –'red'– del espectro lumínico). Cuando la luz roja (o blanca en su defecto) incide sobre la semilla embebida, el fitocromo inactivo ( $P_r$ ) absorberá fotones ('paquetes de energía de la luz') y se convertirá en una forma activa mediante un cambio conformacional en la molécula. A esta forma activa se la conoce como  $P_{fr}$  (en este caso ' $fr$ ' alude a que esta forma del fitocromo absorbe sobre todo luz roja lejana o '*far red*'). El experimentador también puede usar luz roja o roja lejana para la conversión de estas dos formas del fitocromo. Esta forma activa del fitocromo migra (entra) hacia el núcleo celular y (simplificando mucho la explicación) regula la expresión de genes que promueven la germinación. Debe aclararse que para que esta fotoconversión del fitocromo  $P_r$  (inactivo) al  $P_{fr}$  (activo) se produzca, la semilla debe estar embebida ( $\approx$  re-hidratada): no se produce en semillas secas. Existen especies (tal como la maleza de verano *Datura ferox*, 'chamico') en las que es suficiente que la semilla hidratada quede expuesta unos breves instantes a la luz para inducir su germinación (esto explica por qué esta especie germina frecuentemente en suelos disturbados por el paso de un arado). Además, ciertas semillas fotoblásticas pueden percibir no solo la transición 'oscuridad-luz' (*i.e.* el fotoblastismo funcionando como un 'interruptor todo-nada' de la germinación) sino que son capaces de discriminar cambios en la composición espectral de la luz (distinguen luz del sol directa *versus* luz de sombra vegetal, *i.e.* más o menos rica en luz roja o en luz roja lejana respectivamente). Esta percepción también es realizada por el pigmento fitocromo y debemos recordar que antes explicamos que las dos formas del fitocromo absorben esos tipos de luz (roja y roja lejana). Esta capacidad permite a las semillas de ciertas especies 'detectar' (percibir) si el ambiente lumínico de una zona cambia, representando una señal que promueve la germinación. Expliquemos un poco más para poder comprender esto...

Debajo del dosel ('canopeo') de bosques, selvas (y en cultivos) predomina la luz roja lejana, siendo menor la cantidad de fotones de luz roja<sup>16</sup>. Si en alguna de estas comunidades vegetales ocurre un disturbio (*v.g.* caída de un árbol), el ambiente lumínico se modificará y algunas semillas pueden detectar este cambio. Un ejemplo de esto son las especies llamadas 'pioneras', que colonizan los 'claros' (espacios sin árboles) que se forman en bosques y selvas cuando se produce este tipo de disturbios. En estos ambientes es frecuente que se produzcan estas alteraciones que generan zonas o pequeños parches más o menos abiertos (según el grado de disturbio) donde incidirá la luz directa. El bosque con el tiempo se regenerará, pero las especies que comienzan esta sucesión ecológica se conocen como pioneras (es decir, las primeras especies que colonizan el nuevo ambiente). En definitiva, una semilla fotoblástica puede detectar que el ambiente lumínico cambia: pasamos de un tipo luz de 'sombra vegetal' (con mucho 'rojo

---

<sup>15</sup>Químicamente hablando, las 'bilinas' son tetrapirroles de cadena abierta, con enlaces dobles y simples conjugados (alternados), lo que les confiere capacidad de absorción diferencial a determinadas longitudes de onda (simplificadamente  $\approx$  'colores de la luz'). La bilina es la responsable de la fotoconversión del fitocromo cuando absorbe un fotón.

<sup>16</sup>El cambio en el ambiente lumínico (el empobrecimiento en luz roja, y el enriquecimiento relativo en luz roja lejana) debajo de un canopeo ( $\approx$  dosel vegetal) se explica por las propiedades espectrales (de absorción) de las clorofilas: estas moléculas absorben preferentemente el rojo (R) y dejan pasar luz la roja lejana (RL). Por esta razón, la llamada relación R: RL (cociente entre cantidad de fotones R y fotones RL) disminuye en sombras vegetales.

lejano') en el bosque cerrado, a estar en una situación de luz directa en el claro (con más luz roja). Este cambio en el ambiente lumínico será una señal para germinar y colonizar el nuevo ambiente formado.

Debe aclararse que además del cambio en el ambiente lumínico, también la alternancia de temperaturas puede ser una señal para algunas semillas (tal es el caso de una maleza de cultivos de verano, el 'Sorgo de Alepo' *Sorghum halepense*). Por otro lado, un 'claro' en el bosque tendrá una amplitud térmica mayor que la zona bajo el dosel. O sea, el fotoblastismo y la percepción de alternancia térmica pueden ser procesos implicados en esta dinámica de aparición de especies pioneras y de las 'ruderales' (que crecen en ambientes disturbados).

Es relativamente frecuente (aunque no es una condición universal) que las semillas fotoblásticas sean pequeñas y con escasas reservas para el crecimiento del embrión. Podríamos especular evolutivamente e hipotetizar que el fotoblastismo en estos casos podría estar relacionado con un aspecto adaptativo de esta respuesta: al ser pequeñas y con pocas reservas, la luz le indica (una 'señal') a la semilla que se encuentra cerca de la superficie del suelo, mejorando sus posibilidades de emerger exitosamente y formar una plántula. De lo contrario, si esa semilla germinara en la profundidad del oscuro suelo, sus chances de emerger exitosamente serían menores al no tener suficientes reservas para el crecimiento. Es decir, es posible que el fotoblastismo haya sido favorecido por la evolución como una adaptación en especies con semillas con esta característica.

Si estamos en presencia de una semilla pequeña de una especie de la cual no conocemos sus requerimientos (y que no logramos germinar después de haber intentado diversas condiciones), esto puede hacernos sospechar que podríamos estar en presencia de un caso de fotoblastismo. En este caso hipotético, deberíamos intentar germinar la semilla (previa imbibición, lógicamente) en condiciones de luz. La germinación sobre papel mojado o en la parte superior de un sustrato húmedo puede ser suficientes en ciertos casos. Reiteramos: es fundamental que la semilla esté embebida para poder ser inducida a germinar por la luz (como explicamos anteriormente, una semilla seca no responderá a este estímulo, aunque la embebamos posteriormente). En muchas especies el requerimiento de luz no es absoluto, sino que las semillas pueden emerger en oscuridad, pero iluminarlas mejora el porcentaje de germinación (v.g. en *Acacia caven* y *Acacia furcatispina*; ver artículos Funes y Venier 2006 citados al final). También se conoce que las semillas de ciertas especies requieren de fotoperíodos definidos (horas de luz) para poder mejorar su porcentaje de germinación.

Dentro de la flora nativa existen muchos casos de semillas cuya germinación es promovida por la luz, tales como el cardón (cactus columnar del NOA) *Trichocereus terscheckii*, el 'ambay' (una especie que habita en Misiones) *Cecropia pachystachya*, entre otros muchos ejemplos. Este último caso es un ejemplo de especie 'pionera' (coloniza claros selváticos) y con semillas de pequeño tamaño, la cual presenta fotoblastismo tal como comentamos más arriba.

Finalmente podemos mencionar que el requerimiento de luz, según las definiciones que vimos anteriormente, podría ser caracterizado como 'dormición' o bien como 'quiescencia' (dependiendo del concepto de 'dormición' que tomemos como referencia). Según la definición

que adoptamos aquí (Benech- Arnold, ver más arriba), el fotoblastismo sería un caso de dormición, aunque no es la idea de terciar en debate en este tema (en definitiva, es una cuestión semántica irrelevante para los objetivos de este libro).

## Despertando a las semillas: tratamientos pre-germinativos

Los tratamientos para romper la dormición son un aspecto clave en la multiplicación por semillas. Algunos ya los hemos adelantado en la mención de los tipos de dormición, y en esta sección lo trataremos con algo de mayor detalle. Empezaremos por la escarificación y la estratificación, dos términos que el neófito puede confundir (por su sonido levemente semejante) pero claramente diferente desde lo conceptual.

**1. Escarificación:** este tratamiento, que consiste en producir una abrasión, desgaste o corte en la testa seminal, es probablemente el más extendido de los métodos pre-germinativos (obviamente acotado a semillas con cubiertas duras y/o impermeables<sup>17</sup>). La abrasión puede ser de tipo mecánica (con lima o lija común usada para pulir maderas) o bien de tipo química con algún ácido (menos usada que la anterior pero no infrecuente). En muchos casos es suficiente producir un desgaste en la testa, y cuando aparece el endosperma blanco (una situación frecuente en semillas con cubiertas negras) ya puede ser suficiente para que la semilla germine. En algunos casos hay que tener la precaución de no dañar el 'hilo' (cicatriz del funículo<sup>18</sup>, muchas veces visible como una marca circular o de otra forma), lugar donde en muchos casos emergerá la radícula. En algunas especies como la ya nombrada *Canna* ('achira') y muchas otras especies (por ejemplo, leguminosas, *i.e.* familia Fabaceae, y también en Geraniaceae, Malvaceae, entre otras) la escarificación con lija (en una pequeña superficie de la testa) determina un alto porcentaje de germinación (si el lote estaba en buenas condiciones de viabilidad, obviamente). Otra forma de escarificación física es el corte con alicate u otro elemento filoso, y menos usado, la abrasión con arena (recordar que la sílice es un agente abrasivo, *i.e.* desgasta). En cuanto a los tratamientos con ácido (frecuentemente, ácido sulfúrico) aunque menos usado, a veces es recomendado por la bibliografía en ciertas especies. Consiste en sumergir las semillas en una solución de sulfúrico en una concentración y tiempo determinados, y luego lavado. Sin embargo, dada la peligrosidad de este tipo de sustancias, no es un tratamiento recomendado para el aficionado, por lo que no daremos detalles en este capítulo. Finalmente se puede mencionar que también se utilizan tratamientos de escarificación a altas temperaturas en arena, o bien en agua (a 80-100 °C).

Numerosas especies nativas de Argentina requieren escarificación para germinar, entre los que pueden mencionarse muchos ejemplos, tales como la 'tusca' o aramo negro *Vachellia aroma*, el 'caldén' *Prosopis caldenia*, la 'brea' *Parkinsonia praecox*, 'algarrobo blanco' *Prosopis chilensis*

---

<sup>17</sup>También se utiliza en el caso de semillas que están rodeadas por un endocarpio (capa interna del fruto) lignificado, tales como las drupas con 'carozo'.

<sup>18</sup>El funículo es la estructura filiforme que une al óvulo (futura semilla) a la pared del ovario (futuro fruto). El punto de inserción del funículo al óvulo se llama 'hilo'.

y muchas otras especies (véase el libro Eynard et al. citado al final). En algún caso, la escarificación no es imprescindible, pero mejora sustancialmente el porcentaje de germinación.

Ahora bien, uno puede preguntarse ¿cómo germinan en la naturaleza este tipo de semillas? La ‘escarificación’ natural en estos casos se producirá por diversos factores: (i) ciclos de congelación-descongelación; (ii) la acción microbiana en el suelo o estratificación natural (que lentamente degradará parte de la testa, siendo lo más común que ocurre en la naturaleza); (iii) por el pasaje por el tracto digestivo de animales (recordar los casos de ‘endozocoria’<sup>19</sup>, por ejemplo, mamíferos o aves que se alimentan de frutos y semillas: el ambiente ácido del estómago es un agente ‘escarificador natural’). Nosotros como cultivadores y propagadores, aceleramos estos procesos con los métodos descritos e interrumpimos artificialmente el reposo de la semilla. Eynard et al. (2020) mencionan el caso del ‘cocucho’ (*Zanthoxylum coco*) cuyas semillas requieren el pasaje por el tracto digestivo de aves para germinar, y este requerimiento puede suplantarse tratando las semillas con ácido sulfúrico concentrado durante 3 hs. (tal como dijimos más arriba, desaconsejado para aficionados, dada la peligrosidad que conlleva la manipulación del ácido).

**2. Estratificación** (‘frío’ en semillas hidratadas): este es otro de los tratamientos pre-germinativos más utilizados en numerosas especies que presentan dormición fisiológica o morfológica (o combinaciones de diferente tipo de dormición). La estratificación consiste en almacenar las semillas húmedas en algún substrato adecuado (v.g. vermiculita, arena) en bandejas, en el interior de cámaras frías o heladeras, a temperaturas comúnmente en el rango entre 1 y 10 °C. El origen del término (que refiere a ‘estratos’) proviene en que las semillas se colocaban en ‘capas’ intercaladas con el sustrato dentro de una bandeja<sup>20</sup>. Más allá de la etimología, el requerimiento de bajas temperaturas para romper la dormición está fuertemente vinculado a las condiciones de climas con épocas frías (otoño-invierno) en que viven muchas especies: en estos casos, la acumulación de tiempo(días, semanas, meses) de bajas temperaturas es una señal que la estación desfavorable ha pasado, y que se aproximan mejores condiciones para el establecimiento de la futura plántula. Vemos aquí nuevamente, al igual que en el caso de la escarificación, que como ‘propagadores’ realizamos tratamientos que de alguna manera imitan y aceleran algunos procesos que ocurren en la naturaleza.

El tiempo y la temperatura óptima de estratificación en frío es muy variable según la especie y el grado (‘profundidad’) de la dormición que hemos visto en la sección anterior. Mientras que para algunas especies son suficientes unas pocas semanas de almacenamiento en frío para poder germinar, otras especies pueden requerir muchas semanas o meses para romper su dormición. La temperatura óptima de estratificación también varía según la especie y el cultivar. Debe aclararse que, aunque en general hablamos de ‘estratificación en frío’, éste en realidad es un término arbitrario y en ciertos casos el almacenamiento se realiza a más altas temperaturas

---

<sup>19</sup>La zocoria (del griego ‘zoo’≈ animal, y ‘corios’≈ ‘transportar’) es la dispersión de frutos y semillas por acción de animales. Puede ser externa cuando ciertos frutos o semillas (v.g. ‘abrojos’) se adhieren al pelaje o plumaje de animales (‘ecto-zocoria’). Cuando el animal transporta los propágulos internamente en su tracto digestivo, se habla de endozocoria. Otros tipos de dispersión son la ‘anemocoria’ (por el viento), ‘hidrocoria’ (por el agua) etc.

<sup>20</sup>Existen otras versiones acerca del origen etimológico del término ‘estratificación’: provendría de la formación de capas de propágulos y de sedimento y/o hojas secas en el banco de semillas del suelo.

(*warm stratification* en inglés). También existen casos en que la estratificación se realiza con temperaturas alternantes ('frío-calor'). Debemos recordar al lector que en la estratificación se lleva a cabo en semilla húmeda (es decir, con la imbibición realizada), situación que diferencia este tratamiento del siguiente ('Post-maduración en seco').

Ahora bien, ¿qué sucede durante la estratificación y porqué promueve la ruptura de la dormición? En el caso de la dormición morfológica por embriones inmaduros, permitirá que el embrión llegue a un tamaño y a un grado de desarrollo tal que posteriormente le permita germinar. En el caso de semillas con dormición fisiológica por la presencia de inhibidores, el tiempo de almacenamiento en frío inducirá una disminución de estos inhibidores y un aumento de promotores de la germinación, tal como las giberelinas (recordar que el balance hormonal 'ABA-giberelinas' posee un rol regulador crucial de la dormición/germinación<sup>21</sup>, tal como fue descrito en las secciones anteriores). Durante la estratificación no solo cambia el nivel (concentración) de estas hormonas, sino que se modifica la sensibilidad en los tejidos a las mismas.

**3. Post-maduración en seco:** Es un almacenamiento que se realiza en general a temperatura ambiente, y en seco (es decir, con la semilla no embebida: esta condición diferencia a este tratamiento de la estratificación; ver apartado anterior). La post-maduración en seco es frecuentemente utilizada en especies con dormición superficial ('no profunda', la cual evita simplemente que la semilla germine en planta madre) y de tipo 'fisiológica'. Un corto tiempo de almacenamiento en estas condiciones es suficiente para promover la germinación una vez embebidas y colocadas a una temperatura adecuada. Es el tipo de tratamiento usado en muchos cultivos herbáceos hortícolas, en cereales, y especies de interés florícola. Los cambios que ocurren durante la 'post-maduración en seco' no son del todo conocidos, pero probablemente incluyen una disminución de ABA y un aumento de giberelinas tal como hemos descrito anteriormente para el caso de la estratificación.

## Otros tratamientos para romper la dormición

**Tratamientos con luz (semillas fotoblásticas positivas):** Ya hemos hablado en la sección correspondiente acerca del requerimiento de luz de algunas especies. En estos casos, la semilla debe germinarse en la superficie del sustrato (evitando la desecación, por ejemplo, con film cubriendo la bandeja) o bien en cápsulas de Petri -o bandejas plásticas- con papel absorbente humedecido y expuestas a la luz solar (o bien luz artificial como un fluorescente). Debe recalcarse que para que las semillas fotoblásticas respondan al tratamiento lumínico deben estar embebidas, ya que la conversión del pigmento fitocromo (fotorreceptor implicado en la percepción de luz) solo se produce en las células de un embrión hidratado. En algunos casos se requieren fotoperíodos determinados (alternancia luz/oscuridad definidos) para promover o

---

<sup>21</sup>Si bien hemos aclarado que la germinación no debe confundirse con la mera liberación de la dormición, usamos esta expresión para simplificar la explicación.

mejorar el porcentaje de germinación. También podemos mencionar que existen casos más raros de especies con fotoblastismo negativo (es decir, que la luz inhibe parcialmente la germinación; tal es el caso de la especie ornamental *Eschscholzia californica* 'amapola de California').

**Lavado:** se realiza para eliminar inhibidores de naturaleza hidrosoluble (tal como hemos visto anteriormente, un tipo de dormición fisiológica). El lavado se puede hacer por lixiviación (haciendo correr agua en el lote de semillas) o bien por inmersión.

**Tratamientos con hormonas:** En ciertos casos de semillas difíciles de germinar y que no responden a los tratamientos antes descritos, se pueden utilizar tratamientos de tipo hormonal, en particular de giberelinas. Las giberelinas actúan de varias maneras en la ruptura de la dormición, ya que promueven la síntesis de enzimas que degradan las cubiertas y el endosperma (que en muchos casos es un impedimento físico para la protrusión o salida de la radícula), inducen la removilización de reservas y promueven el crecimiento del embrión. La giberelina más utilizada es el ácido giberélico (simbolizado como GA<sub>3</sub>) en concentraciones variables según la especie y grado de dormición. Las semillas se pueden asperjar (pulverizar) con la solución antes de intentar germinarlas.

**Alternancia de temperaturas:** Tal como hemos mencionado anteriormente, algunas semillas requieren de alternancia de temperaturas para germinar. Ciertas especies mejoran sensiblemente su germinación cuando se las somete a ciclos de temperatura alternantes ('alta-baja'), a veces combinados con otros tipos de tratamiento. Dentro de la flora nativa de Argentina, se citan al 'algarrobo dulce' *Prosopis flexuosa* y la 'tusca' *Vachellia aroma* como ejemplos de semilla que requiere temperaturas alternantes (15°C-25°C o bien 20°C-35°C) para germinar.

Ahora bien, y siguiendo con nuestro intento de relacionar los tratamientos aplicados con cuestiones biológicas, podemos preguntarnos: ¿Por qué estas semillas requieren esta alternancia térmica para germinar? En modo similar a lo que discutimos con las semillas fotoblásticas (ver secciones anteriores) es posible que muchas especies que requieren esta alternancia térmica habiten en zonas abiertas (v.g., claros en selvas y bosques etc.): la amplitud térmica puede ser una señal para la semilla, 'indicándole' que las condiciones microambientales han cambiado en el entorno (v.g. formación de un claro por caída de árboles) y es hora de 'despertar': un suelo sin cubierta vegetal tendrá oscilaciones térmicas mayores, si lo comparamos con un suelo con cubierta vegetal, en las que la amplitud térmica está amortiguada.

**Tratamiento con sales de nitrato:** aunque no se conocen del todo las bases mecanísticas (causales), es reportado desde hace mucho tiempo el uso del nitrato y otros compuestos nitrogenados (nitritos, urea etc.) para romper la dormición de semillas en algunas especies. Una hipótesis postula que el nitrato sería una señal que promueve la disminución del ABA, liberando a la semilla de la dormición. El nitrato de potasio es uno de los compuestos de nitrógeno más utilizado (en términos relativos) para romper la dormición.

**Tratamientos combinados en semillas con dormición 'múltiple':** tal como mencionamos más arriba, existen semillas que poseen más de un tipo de dormición y el tratamiento que requieran tendrá que ser acorde a esta situación. Por ejemplo, una semilla con dormición física-fisiológica (v.g. cubierta dura, y presencia de inhibidores), requerirá por un lado de escarificación,

y por otro de estratificación (respectivamente). Otro ejemplo serían las semillas con dormición morfo-fisiológica: en este caso la estratificación puede servir para aliviar ambas dormiciones (desarrollo del embrión, y eliminación de inhibidores).

**Otros tratamientos pre-germinativos no vinculados a dormición:** una de las prácticas utilizadas relacionadas a la sanidad de las semillas (v.g. por presencia de patógenos de origen fúngico) es esterilizarlas con soluciones de hipoclorito de sodio (conocido comúnmente como 'lavandina' en Argentina, 'lejía' en España etc.). Aunque no desarrollaremos el tema aquí, también se utilizan 'curadores' (antifúngicos) comerciales para tratar a las semillas. En ocasiones y con semillas afectadas por este tipo de problemas, el porcentaje de germinación mejora notablemente con estos tratamientos. Obviamente, para que esto funcione el embrión debe ser aún viable; si el ataque fúngico ya ha producido la muerte del embrión, el proceso es irreversible.

## Retomando el crecimiento: la germinación

Hasta aquí hemos hablado de 'germinación' pero en realidad, los temas que tratamos en las secciones anteriores (y buena parte de este capítulo) es justamente, 'la ausencia de germinación'. Ya sea por causa tales como la falta de agua o de temperaturas adecuadas ('quiescencia') o por causas endógenas de la propia semilla ('dormición'), consideramos un embrión en estado de reposo ('ausencia de crecimiento'). Cuando estas causas que impiden la germinación desaparecen, finalmente el embrión podrá reestablecer su crecimiento, emergerá como plántula, y se volverá un organismo autotrófico (es decir, podrá realizar fotosíntesis), constituyéndose en una nueva planta.

En primer lugar, vamos a definir y precisar el concepto de germinación. De acuerdo a lo que dijimos arriba, la germinación es el reinicio de la actividad metabólica en el embrión y el restablecimiento de su crecimiento. Pensando en semillas ortodoxas (recuerden que este tipo de semillas poseen bajo contenido porcentual de agua durante el período de quiescencia), además de una temperatura adecuada, un requisito fundamental para propiciar la germinación es la hidratación. Esta (re) hidratación de las semillas ortodoxas se conoce como **imbibición** y es una condición *sine qua non* para permitir la germinación. Ahora bien, ¿de dónde proviene el agua que participa en esta imbibición?: (i) puede provenir del suelo (semillas de plantas creciendo naturalmente o bien muchos cultivos extensivos o en invernadero de cultivos protegidos, hortícolas etc.); (ii) de sustratos artificiales tales como vermiculita, perlita u otros, tal como el caso de los almácigos en cultivos que se pre-germinan antes de plantarlos (v.g. tomate u otras hortícolas), o (iii) del papel absorbente humedecido en una cápsula de Petri (v.g. en test de germinación en condiciones controladas en una estufa de cultivo). Un apropiado nivel de humedad (en el suelo, en sustrato artificial o en papel, según el caso) es de crucial importancia para una correcta imbibición.

¿Cuánta agua hay que aportar para permitir la correcta imbibición?: obviamente, depende de cada especie y del sistema que usemos, pero debemos recordar que una vez que le semilla se

rehidrate, se activará el proceso respiratorio en las células, por lo que es crucial permitir una correcta difusión de oxígeno. El agua que aportemos debe ser un compromiso entre permitir una imbibición adecuada, y por otro lado no impedir la entrada de oxígeno a la semilla (ver Figura 3.3). Esto último sucedería, por ejemplo, si ‘encharcamos’ el suelo o humedecemos en exceso el sustrato que utilizemos (en el agua hay mucho menos oxígeno que en la atmósfera).

Ahora bien, ¿qué fuerza impulsa al agua a entrar a la semilla y rehidratarla? La fuerza impulsora para la entrada del agua a la semilla es de naturaleza **mátrica**. ¿Qué quiere decir esto? Son fuerzas físicas de atracción de las superficies de partículas de tamaño coloidal (‘matrices’), tal como pueden ser las arcillas de un suelo o la celulosa en el caso de una semilla seca. Para entender las fuerzas mátricas podemos utilizar una analogía didáctica tomada de la vida cotidiana, y compararlas con una toalla que utilizamos para secarnos. Las fibras de algodón de una toalla (previamente seca) se hidrata al contacto con nuestro cuerpo mojado, y nos elimina humedad; de manera análoga, la semilla absorbe agua del entorno (suelo, sustrato), un proceso impulsado por esas fuerzas mátricas (no olvidemos que, en forma similar a la analogía de la toalla seca, una semilla ortodoxa tiene un bajo contenido de agua, solo entre un 5-10% de su peso). Una cosa importante a señalar es que la imbibición, al ser un proceso de naturaleza puramente física, no depende de que la semilla esté viva (‘viable’). O sea, una semilla muerta, igualmente puede embeberse por la acción de las fuerzas mátricas, pero obviamente no germinará (ver Figura 4.3).

En sentido amplio, la re-hidratación posee tres etapas, las cuales son mostradas en la figura 4.3. En una primera etapa, el peso fresco<sup>22</sup> de la semilla se incrementa por la imbibición, aumentando el nivel de humedad en los tejidos, lo cual permite el restablecimiento de la actividad metabólica. Luego sigue una segunda etapa en que el peso fresco de la semilla se mantiene estable (no ingresa agua extra; fase ‘lag’ o de latencia). Finalmente, hay una tercera etapa en que el ingreso de agua vuelve a incrementarse (aumenta el peso fresco de la semilla), lo cual se produce debido a un evento fundamental: la emergencia (salida) de la radícula (≈raíz embrionaria). Si somos estrictos, en términos técnicos la salida de la radícula marca la finalización de la germinación, siendo el período subsiguiente denominado ‘post-germinación’. Esto puede resultar un poco contra intuitivo en términos del sentido común, ya que la mayoría de la gente llama ‘germinación’ a la aparición de la radícula y al crecimiento de la plántula. Sin embargo, cuando la radícula emerge, la germinación ya finalizó. En la práctica agronómica a veces se llama a esto ‘germinación visible’, para distinguirla del proceso real de germinación, la cual fisiológicamente hablando es el restablecimiento del crecimiento de embrión (lo cual se desencadenó previamente a la salida de la radícula).

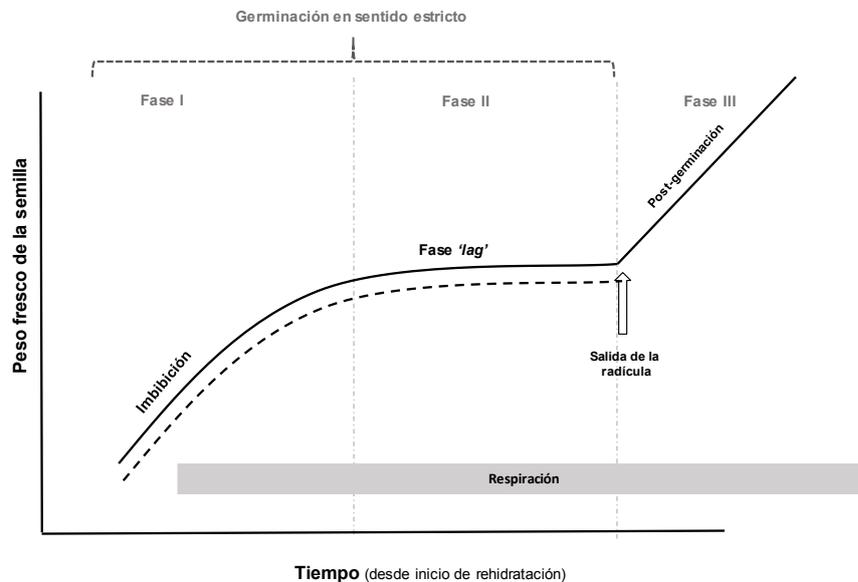
## Establecimiento de la plántula

---

<sup>22</sup> En fisiología vegetal, el término ‘peso fresco’ alude al peso total del órgano, con el nivel de humedad actual que tenga en ese momento. ‘Peso seco’, en cambio, es el peso del órgano una vez colocado en estufa a ≈60 °C durante un cierto tiempo (días), lo cual elimina toda el agua de los tejidos.

Llamamos 'plántula' al estado ontogénico en que el crecimiento depende total o parcialmente de las reservas seminales (hidratos de carbono, lípidos, proteínas). Morfológicamente, existen dos tipos de emergencia (salida) de plántula: (i) hipógea, en la que los cotiledones no salen al exterior y (ii) epígea, cuando lo que vemos de la plántula al emerger son los cotiledones. El ejemplo típico de este caso son muchas leguminosas tales como 'porotos', 'soja' etc.

**Figura 4.3**



*Nota.* Cambios en peso fresco (PF) de la semilla (reflejando principalmente, absorción de agua), desde el momento que comienza la re-hidratación, hasta el inicio del crecimiento de la plántula ('post-germinación'). Estrictamente hablando la imbibición ocurre en la Fase I. La germinación comprende las Fases I y II (la Fase III ya no se considera parte de la germinación). El aumento de PF que se observa en la Fase III se debe a una nueva entrada de agua debido a la salida de la radícula y crecimiento del embrión. La curva con línea punteada (- - -) muestra la imbibición de una semilla no viable (embrión total o parcialmente muerto: no hay fase III). Las líneas punteadas verticales (...) marcan los límites entre las fases. El rectángulo gris muestra cualitativamente las fases en que ocurre la respiración (ausente en la semilla no viable). Nótese que el consumo de oxígeno puede comenzar bastante tempranamente durante la imbibición: una hidratación excesiva (suelo o sustrato encharcado) puede comprometer la correcta oxigenación de los tejidos de la semilla<sup>23</sup>. En las diferentes fases ocurren diversos e innumerables procesos (metabólicos, a nivel génico) que son omitidos por cuestiones de simplicidad. (Elaboración propia).

La emergencia y el establecimiento de la plántula involucran profundos cambios a nivel histológico y de los órganos. La plántula que está aún enterrada en la oscuridad del suelo es

<sup>23</sup> Esto sería válido para especies 'mesófitas' (plantas terrestres de ambientes no extremos, como lo son muchos cultivos: no toleran ni la inundación ni la aridez). Por el contrario, en especies palustres (v.g. *Typha sp.*) la inundación y la hipoxia son condiciones óptimas para germinar.

blanquecina (o amarillenta), posee tallos muy elongados ('estirados') y blandos, hojas sin expandir y sin clorofila. Decimos que la plántula está en un estado 'etiolado'<sup>24</sup>. El pasaje a la vida autotrófica (*i.e.* realizando fotosíntesis) implica la expansión de las hojas, síntesis de clorofila (se vuelve de color verde), se diferencian los cloroplastos, el tallo se elonga menos y tendrá tejidos de sostén y de conducción constituidos etc. Decimos que la plántula sufrió el proceso de des-etiolación, un fenómeno regulado por la luz y que involucra cambios en la expresión de numerosos genes. A partir de ahora, la nueva planta está lista para fotosintetizar y así podrá comenzar su vida en forma autotrófica. La planta crecerá, algún día florecerá y dará semillas, cerrando el ciclo vital. Pero eso, es '*harina de otro costal*' y no es tema de este capítulo.

## Corolario

En definitiva, en este capítulo hemos caracterizado a la semilla y definido el concepto de germinación, describimos las causas que pueden impedirla (quiescencia y dormición), analizamos la longevidad y la viabilidad, dimos algunos *tips* para optimizar las condiciones de almacenamiento de semillas, describimos algunos de los tratamientos pre-germinativos, y discutimos el proceso de imbibición. En la Tabla 4.1 resumimos algunos de los conceptos discutidos en este capítulo.

Como reflexión final, diremos que a la hora de intentar la germinación de una especie de la cual no conocemos sus requerimientos, pensemos en las condiciones ecológicas que enfrenta esa semilla en la naturaleza: eso puede darnos indicios o 'pistas' acerca de qué tipos de tratamientos podemos aplicar para obtener germinaciones satisfactorias. Por citar un par de ejemplos de los muchos posibles: una especie que en su hábitat germina naturalmente en primavera luego del frío del otoño e invierno, puede hacernos sospechar que requiere estratificación para liberarla de la dormición. O una especie palustre requerirá probablemente condiciones de hipoxia e inundación etc.

### Tabla 4.1.

---

<sup>24</sup>El término 'etiolado' proviene del latín '*etio*' ≈ oscuridad.

Factor implicado (en la ausencia de germinación)	Terminología	Posibles acciones para resolverlo
Embrión parcial o totalmente muerto	Problemas con la viabilidad	Optimizar condiciones de almacenamiento Chequear antigüedad del lote de semillas
Embrión con ataque fúngico	Fitopatógenos a nivel seminal	Tratamientos con hipoclorito de sodio ('lavandina', 'lejía') o con funguicidas específicos para semillas
Falta de agua/agua insuficiente	Quiescencia (déficit de H <sub>2</sub> O)	Mejorar la humedad del sustrato/ suelo para permitir la correcta imbibición
Exceso de agua	Quiescencia (déficit de O <sub>2</sub> )	Permitir una imbibición adecuada sin encharcar el suelo/sustrato
Temperatura inadecuada	Quiescencia	Optimizar la T° de germinación, bibliográficamente o ya sea empíricamente (ensayo-error)
Cubierta dura y/o impermeable	Dormición física	Escarificación física (lijado, raspado) o química (ácido)
Relación GA/ABA desfavorable	Dormición fisiológica	- Postmaduración en seco (solo válido para dormición superficial) - Estratificación (almacenamiento húmedo a baja T°) - Aplicación exógena de GA
Presencia de inhibidores de naturaleza hidrosoluble	Dormición fisiológica	Eliminar inhibidores por lavado de semillas con agua (lixiviación, sumersión)
Embrión inmaduro	Dormición morfológica	Estratificación
Ausencia de luz	Fotoblastismo positivo	Germinación en la superficie del sustrato bajo luz natural, o bien aplicación de luz artificial (semilla embebida en todos los casos)

**Nota.** Resumen de varios temas tratados en este capítulo, donde se muestran diversas posibles causas de ausencia de germinación (1ra. columna), terminología específica (2da. columna) y posibles acciones para resolverlo (3ra. columna). Como se puede observar, se citan cuestiones tanto de falta de viabilidad como de quiescencia, dormición y fotoblastismo. GA = giberelinas. ABA = ácido abscísico. (Elaboración propia).

## Referencias

- Benech-Arnold R.I., Sánchez R.A., Forcella F., Kruk B.C. & Ghera C.M. (2000). Environmental control of dormancy in weeds seed banks in soil. *Field Crops Research*, 67, 105-122.
- Castillo M.L.C., Bustamante R.O., Peña-Gómez F.T., Gutiérrez V.L., Reyes, C.A., Arredondo-Núñez A. & Marey M. (2013). Negative photoblastism in the invasive species *Eschscholzia californica* Cham. (Papaveraceae): Patterns of altitudinal variation in native and invasive range. *Gayana Botanica*, 70 (2), 330-336.
- Chahtane H., Kim W. & Lopez-Molina L. (2017). Primary seed dormancy: a temporally multilayered riddle waiting to be unlocked. *Journal of Experimental Botany*, 68(4), 857-869.
- Eynard C., Calviño A. & Ashworth L. (2020). *Cultivo de Plantas Nativas. Propagación y Viverismo de especies de Argentina Central*. Editorial Ecoval, 448 pp.
- FAO. 2014. *Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rev ed. Rome. Disponible on-line: [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications).
- Funes G. & Venier P. (2006). Dormancy and germination in three Acacia (Fabaceae) species from central Argentina. *Seed Science Research*, 16, 77–82.
- Ghera C.M, Benech-Arnold R.L. & Martinez-Ghera M.A. (1992). The Role of Fluctuating Temperatures in Germination and Establishment of *Sorghum halepense*. Regulation of Germination at Increasing Depths. *Functional Ecology*, 6(4), 460.

- Hartmann H.T., Kester, Davies F.T. & Geneve R.L. (2014) *Plant Propagation. Principles and Practices*. 8va edición. Pearson Education Inc. 922 pp.
- Hilhorst H.W.M. (2007). Definitions and hypotheses of seed dormancy. En *Seed Development, Dormancy and Germination* (Bradford y Nonogaky eds.). Blackwell Publishing Ltd. Pp. 50-71.
- Montaldi E. (1995) Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones Sur, 298 pp.
- Ortega-Baesa P. & Rojas-Arechiga M. (2007). Seed germination of *Trichocereus terscheckii* (Cactaceae): Light, temperature and gibberellic acid effects. *Journal of Arid Environments*, 69, 169-176.
- Raphael M.B., Chong K.Y, Yap V.B. & Tan H.T.W. (2015). Comparing germination success and seedling traits between exotic and native pioneers: *Cecropia pachystachya* versus *Macaranga gigantea*. *Plant Ecology*, 216(7),1019-1027.
- Sivori E., Nakayama F. & Cigliano E. (1968). Germination of achira seed (*Canna* sp.) approximately 550 years old. *Nature*, 219, 1269-1270.
- Solberg S., Yndgaard F., Andreasen C., von Bothmer R., Loskutov I.G. & Asdal, Å. (2020). Long-Term Storage and Longevity of Orthodox Seeds: A Systematic Review. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1007.
- Souza R.P. & Valio, I.F.M. (2001). Seed Size, Seed Germination, and Seedling Survival of Brazilian Tropical Tree Species Differing in Successional Status. *Biotropica*, 33(3), 447-457.
- Taiz L., Zeiger E., Möller I.M. & Murphy A. (2018). *Plant Physiology and Development*. 6ta edición revisada. Sinauer, 896 pp.
- Zazula G.D., Harington R., Telka A.M. & Brock F. (2009) Radiocarbon dates reveal that *Lupinus arcticus* plants were grown from modern not Pleistocene seeds. *New Phytologist*, 182, 788-792.

# Los autores

## Coordinadores

### **Gergoff Grozeff, Gustavo Esteban**

Ingeniero Agrónomo. Ingeniero Forestal. Doctor en Ciencias Naturales (FCNyM - UNLP). Investigador Adjunto CONICET (INFIVE CCT CONICET La Plata). Investigador Categoría III (INFIVE CCT CONICET La Plata). Docente de las Cátedras de Fruticultura (JTP) y Fisiología Vegetal (JTP) (FCAyF - UNLP). Temas de investigación: Fisiología de frutos y tecnología en frutales. Director de Proyectos de Investigación (UNLP y CONICET). Responsable del Taller de Extensión “Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal” FCAyF-UNLP

### **Ruscitti, Marcela Fabiana**

Ingeniera Forestal. Doctora de la Facultad de Ciencias Exactas, Área Ciencias Biológicas (FCE - UNLP). Profesora Adjunta Cátedra de Fisiología Vegetal (DCByE - UNNOBA). Jefa de Trabajos Prácticos Cátedra de Fisiología Vegetal (FCAyF - UNLP). Investigador Categoría II (INFIVE CCT CONICET La Plata). Tema de Investigación: Fisiología del estrés biótico y abiótico en cultivos hortícolas. Uso de bioinsumos y biotécnicas como alternativa sustentable de producción en situación de estrés. Docente del Taller de Extensión “Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal” FCAyF-UNLP.

### **Gimenez, Daniel Oscar**

Ingeniero Agrónomo, docente en la Cátedra de Fisiología Vegetal desde 1973 Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Profesor de Fisiología Vegetal en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (1979-1996) y Profesor Adjunto de Fisiología Vegetal (FCAyF UNLP) (desde 1991). Profesor de posgrado en las Facultades de Ciencias Exactas (Maestría en Plantas Medicinales) y en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (Maestría en Protección Vegetal), de la UNLP. Profesor Titular de Fisiología Vegetal Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires desde 2006. Profesor en cursos de Extensión “Como hacer crecer las plantas sin suelo” y “Propagación Vegetal” y Curso optativo para alumnos “Cultivo en hidroponía” FCAyF, UNLP. Director del Departamento de Ciencias Biológicas FCAyF, UNLP desde 2002.

## **Autores**

### **Tambussi, Eduardo Alberto**

Licenciado en Biología (Orientación Ecología) (FCNyM - UNLP). Doctor en Biología. (Universidad de Barcelona, España). Docente de la Cátedra de Fisiología Vegetal (JTP) (FCAyF - UNLP). Investigador Independiente de CONICET (INFIVE CCT CONICET La Plata). Investigación en el área de Ecofisiología de Cultivos. Docente del Taller de Extensión "Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal" FCAyF-UNLP.

### **Carbone, Alejandra Victoria**

Licenciada en Biología. Especialista en Docencia Universitaria. UNLP. Magister Scientiae en Protección Vegetal (FCAyF - UNLP). Profesora Adjunta de la Cátedra de Morfología Vegetal y Jefa de Trabajos Prácticos Cátedra de Fisiología Vegetal (FCAyF - UNLP). Docente Investigador Categoría III. Co-directora del Proyecto de Investigación y Desarrollo vinculado al Relevamiento florístico y edáfico de los establecimientos productivos pertenecientes a la UNLP y administrados por la FCAyF, en el partido de Magdalena. Participante en el Proyecto de Investigación y Desarrollo de Ecofisiología de los cultivos protegidos intensivos y a campo. Docente en los cursos optativos de grado y de extensión "Cultivo en Hidroponía" y "Actualización en Técnicas en Propagación Vegetativa" que se dictan en la FCAyF. Docente del Taller de Extensión "Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal" FCAyF-UNLP

### **Luquez, Virginia Martha Cristina**

Licenciada en Biología (FCNyM - UNLP). Doctora en Ciencias Naturales (FCNyM - UNLP). Investigadora Independiente de CONICET (INFIVE CCT CONICET La Plata). Jefa de Trabajos Prácticos de la Cátedra de Fisiología Vegetal (FCAyF - UNLP). Campo de investigación: Respuestas de las Salicáceas a distintos estreses. Uso de Salicáceas para producir biomasa para energía. Lugar de trabajo: Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE) CONICET-UNLP. Docente del Taller de Extensión "Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal" FCAyF-UNLP.

### **Romero, María de los Ángeles**

Ingeniera Agrónoma. Jefa de Trabajos Prácticos de Fruticultura (FCAyF - UNLP). Asesora en producción de frutas orgánicas. Establecimiento "Don Elías" San Pedro. Asesora en la producción de ciruelos en Abasto, La Plata y en la organización y producción del Vivero Kirken, Oliden, La Plata. Participación en Proyectos de investigación sobre propagación e injertación de portainjertos. Extensión: co-dirección en proyectos productivos de viñedos y ciruelos, en la actualidad coordinadora en la incorporación de la fruta en la dieta diaria (UNLP).

### **Moreno Kiernan, Alejandro Ricardo**

Ingeniero Agrónomo (FCAyF-UNLP). Especialista en Docencia Universitaria (UNLP). JTP de Zoología Agrícola (carrera Ingeniería Agronómica) y de Introducción a la Zoología Aplicada (carrera Ingeniería Forestal-UNLP). Ayudante del curso de Terapéutica Vegetal (carrera Ingeniería Agronómica - FCAyF-UNLP). Responsable del Curso Componente de Agrobiodiversidad (Tecnatura universitaria en agroecología). Investigación sobre la temática de insectos plaga y sus enemigos naturales en cultivos extensivos e intensivos: estrategias de manejo compatibles con el control biológico. (FCAyF-UNLP). Curso de Extensión: Lombricultura y compostaje; cultivo de hidroponía y Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal (FCAyF-UNLP). Talleres extensión en escuelas de nivel medio: La genética se mete con la agricultura (FCAyF-UNLP).

### **Ricci, Elisabet Mónica**

Ingeniera Agrónoma. Doctora en Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF - UNLP). Vicedecana de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP. Profesora Titular de Zoología Agrícola - Introducción a la Zoología Aplicada (CISaV - FCAyF -UNLP). Docente responsable del Curso Componentes de la Agrobiodiversidad. Tecnatura Universitaria en Agroecología (FCAyF - UNLP). Profesora Adjunta de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (Universidad Nacional Arturo Jauretche). Directora/Codirectora de proyectos de investigación y extensión en Manejo Integrado de Plagas en la FCAyF UNLP.

### **Mónaco, Cecilia Inés**

Doctora en Ciencias Naturales (Ecología) (FCNyM - UNLP). Profesora Adjunta de Fitopatología. (FCAyF - UNLP). Directora del Proyecto de Incentivos a la Investigación 11/A334  
Directora del Proyecto de Extensión "Argentina contra el hambre". Docente del Taller de Extensión "Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal" FCAyF-UNLP.

### **Aprea, Alberto Miguel**

Ingeniero Agrónomo (FCAyF – UNLP). Profesor Adjunto Curso de Protección Forestal (FCAyF UNLP). Miembro de Departamento de Ambiente y Recursos Naturales (FCAyF - UNLP). Integrante Comité Organizador de Congresos y Encuentros relacionados con la Sanidad Vegetal. Jurado de Concursos Docentes. Evaluador de Trabajos Finales de Carrera (FCAyF UNLP), Director de Pasantías. Ha publicado trabajos en revistas, congresos y jornadas de Fitopatología y Ciencias de la Educación. Coordinador de libro de cátedra: Problemáticas Sanitarias del Arbolado (EDULP) Participante de proyectos de investigación y extensión vinculados con la sanidad vegetal

### **Gamboa, Blanca Susana**

Ingeniera Agrónoma. Profesora Adjunta del Curso de Horticultura y Floricultura (FCAyF - UNLP). Participante del Proyecto RUC-APS (*“Enhancing and implementing Knowledge based ITC solutions within high Risk and Uncertain Conditions for Agriculture Production System”*) financiado por la Union Europea. Línea de trabajo (WP14): Buenas Prácticas para la producción hortícola en zonas periurbanas. Profesional de consulta en temáticas Hortícolas y Florícolas. Directora Técnica del Vivero Di Carlo e Hijos S.A. (La Plata, Argentina). Docente del Taller de Extensión “Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal” FCAyF-UNLP

### **Fernández Acevedo, Victoria**

Ingeniera Agrónoma. Ayudante Adscripta del Curso de Horticultura y Floricultura (FCAyF - UNLP). Becaria Doctoral de CONICET (CEPAVE - CCT CONICET La Plata) en el Área de Ecotoxicología. Tema de Investigación: Citotoxicidad y Genotoxicidad de plaguicidas en el depredador generalista *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae).

### **Gauna, Juan Marcelo**

Ingeniero Forestal. Becario doctoral CONICET. Lugar de trabajo: INFIVE CCT CONICET La Plata. Ayudante alumno de la Cátedra de Fisiología Vegetal (FCAyF UNLP) desde 2017. Tema de Investigación: Ecofisiología y domesticación de especies nativas proveedoras de productos forestales no madereros. Docente del Taller de Extensión “Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal” FCAyF - UNLP.

### **Balirán, Valentina**

Ingeniera Forestal. Ayudante alumno de la Cátedra de Fisiología Vegetal (FCAyF UNLP) desde 2017. Docente del Taller de Extensión “Capacitación en Técnicas de Propagación Vegetal” FCAyF - UNLP.

### **Morelli, Gabriela Andrea**

Ingeniera Agrónoma. Especialista en docencia universitaria (UNLP). Profesora Adjunta de Fruticultura (FCAyF - UNLP). Profesora Adjunta de Sistemas de producción Frutícola. Licenciatura en Cultivos Intensivos (UNAJ). Proyecto de investigación: Ecofisiología de frutales Proyecto de extensión: vivero, propagación, injertos. Fruticultura agroecológica. UNLP.

Gergoff Grozeff, Gustavo Esteban

Introducción a la propagación vegetal: de la fisiología a la práctica integrada / Gustavo Esteban Gergoff Grozeff ; Marcela Fabiana Ruscitti ; Daniel Oscar Gimenez ; coordinación general de Gustavo Esteban Gergoff Grozeff ; Marcela Fabiana Ruscitti ; Daniel Oscar Gimenez. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; EDULP, 2023.  
Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga  
ISBN 978-950-34-2342-4

1. Reproducción. 2. Cultivos. 3. Plagas. I. Ruscitti, Marcela Fabiana. II. Gimenez, Daniel Oscar. III. Título.  
CDD 580.7

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata  
48 N.º 551-599 / La Plata B1900AMX / Buenos Aires, Argentina  
+54 221 644 7150  
edulp.editorial@gmail.com  
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2023  
ISBN 978-950-34-2342-4  
© 2023 - Edulp

**n**  
naturales

  
Edulp  
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA