

# PRINCIPIOS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES PARA LAS SEMILLAS NATIVAS EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Simone Pedrini<sup>1,2</sup> & Kingsley W. Dixon<sup>1</sup>

## Resumen

La creciente demanda de semillas nativas para la restauración y rehabilitación ecológica ya sea de áreas afectadas por minería, bosques u otros ecosistemas, ha generado una importante industria global para el abastecimiento, suministro y venta de semillas nativas. Sin embargo, no existen directrices internacionales documentadas para garantizar que las semillas nativas tengan los mismos estándares de garantía de calidad que son una práctica habitual en las industrias de cultivos y horticultura. Usando los Principios y Estándares Internacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica como documento base, proporcionamos por primera vez una síntesis de las prácticas generales en la cadena de suministro de semillas nativas para generar los Principios y Estándares para las Semillas Nativas en la Restauración Ecológica ("Estándares"). Estas prácticas y la ciencia subyacente proporcionan la base para desarrollar medidas de calidad y directrices que se pueden adaptar a escala local, de bioma o nacional. Es importante destacar que estos Estándares definen lo que se considera como semilla nativa en la restauración ecológica y resaltan las diferencias entre las semillas nativas y las semillas con genética mejorada. Los métodos para análisis de semillas se proporcionan dentro de un marco lógico que describe los diferentes estados de dormancia en las semillas nativas que pueden frustrar los resultados de los procesos de restauración. Se incluye un formato para una etiqueta como una herramienta que se puede personalizar según las necesidades locales y así estandarizar los informes a los usuarios finales sobre el nivel de calidad de la semilla y la germinabilidad que se espera de un lote de semillas nativas. Estos Estándares no pretenden ser obligatorios; sin embargo, las directrices proporcionan la base sobre la cual circunscripciones y jurisdicciones pueden desarrollar enfoques regulatorios.

**Palabras clave:** cadena de suministro de semillas nativas, semillas vivas puras, preacondicionamiento de semillas, procedencia de semillas, calidad de semillas, almacenamiento de semillas

---

<sup>1</sup> ARC Center for Mine Site Restoration, Department of Environment and Agriculture, Curtin University, Kent Street, Bentley, 6102, WA, Australia.

<sup>2</sup> Autor para correspondencia: S. Pedrini. Correo electrónico: smnpedrini@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La semilla es un recurso básico y, a menudo, limitado en los programas de restauración en todo el mundo. La segunda edición de los Principios y Estándares Internacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica (Gann et al. 2019) destaca cómo la semilla es la base de muchos programas de restauración. Sin embargo, a nivel mundial, hay pocos países donde existen controles de calidad en la cadena de suministro de semillas que garanticen un estándar mínimo de calidad (Vogel 2002; Mainz & Wieden 2019). Por lo tanto, un paso lógico en el desarrollo de capacidades para lograr una restauración ecológica predecible, efectiva y a gran escala es formular un marco metodológico para asegurar la calidad de semillas de la misma manera que las semillas agrícolas comerciales se rigen a través de reglas y metodologías de análisis aceptadas internacionalmente (International Seed Testing Association [ISTA] 2019). Esto es aún más crítico con la Década para la Restauración de Ecosistemas propuesta por la ONU (2021-2030) que tiene como objetivo restaurar 350 millones de hectáreas en todo el mundo, lo que generará demandas sin precedentes de suministros confiables y sostenibles de semillas nativas. Por lo tanto, para los proveedores, usuarios finales, profesionales, financiadores de proyectos de restauración y agencias reguladoras, es fundamental tener certeza en la calidad de la semilla para lograr el éxito de la restauración a escala local y global.

Para la mayoría de los países con empresas de semillas nativas o programas de restauración a gran escala, las semillas se comercializan con poca consideración sobre su calidad y viabilidad (Ryan et al. 2008). Esto ha resultado en semillas de mala calidad e incluso muertas que ingresan a la industria del suministro de semillas. Por ejemplo, cuando se analizó la germinación de lotes de semillas nativas en ocho especies de diferentes proveedores en toda Europa, se detectó una gran variabilidad entre los proveedores, con algunos lotes que no contenían semillas viables (Marin et al. 2017). Con dichos escenarios, si la calidad de la semilla no se garantiza, al final se deteriorará la confianza de los compradores y los profesionales de la restauración sobre la eficacia de las semillas nativas. Tales resultados podrían debilitar seriamente la credibilidad de los productores y proveedores de semillas nativas, reduciendo la cantidad y diversidad de semillas nativas disponibles. Esto tendrá consecuencias al limitar la efectividad de los programas de restauración y la meta a la que se aspira de

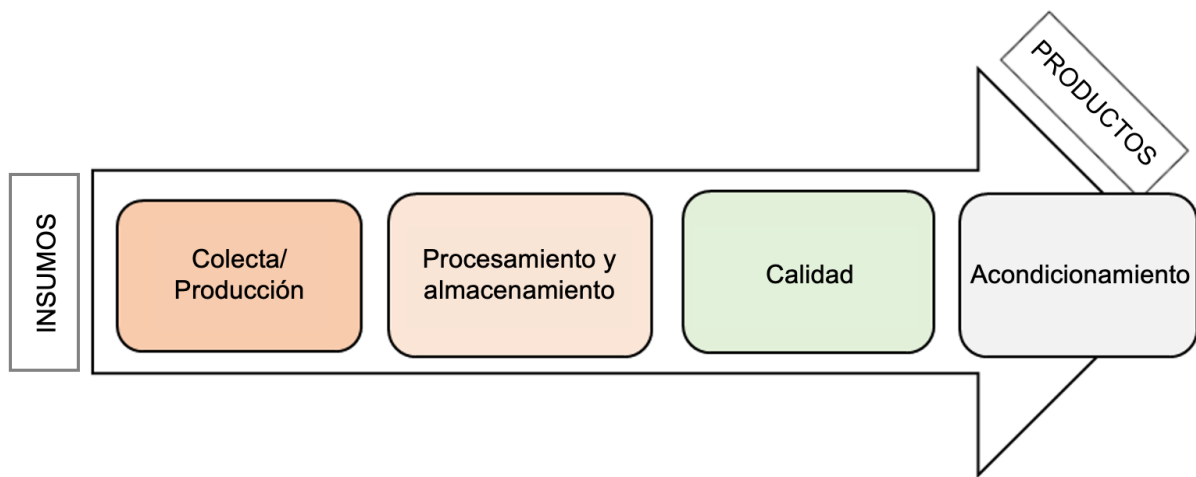
la recuperación total del ecosistema descrita en los Principios y Normas Internacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica (Gann et al. 2019).

*“Estos Estándares tiene como objetivo lograr un equilibrio entre lo que son las expectativas y garantías de calidad razonables para el usuario de semillas y lo que es factible, en términos prácticos y económicos, para los proveedores de semillas”.*

Un elemento clave para estos, los primeros Estándares Internacionales para las Semillas Nativas en la Restauración Ecológica ("Estándares"), es proporcionar los principios subyacentes (con directrices correspondientes) para las etapas en el suministro de semillas desde la fuente hasta el sitio de restauración (Fig. 1) - la *cadena de suministro de semillas*. La cadena de suministro de semillas proporciona el marco lógico para los pasos clave con los Estándares que maximizan los productos y resultados para la producción y el suministro de semillas de calidad (Cross et al. 2020). Sin embargo, la cadena de suministro de semillas es tan sólida como el eslabón más débil. Garantizar que todas las etapas se gestionen para optimizar la calidad de las semillas en la cadena, es un aspecto clave de estos Estándares en los que los proveedores de semillas aspiran a obtener los mejores y más altos resultados de calidad de semillas. La calidad de la semilla abarca todos los atributos intrínsecos de un lote de semillas que pueden analizarse y recibir un valor numérico como la pureza, la viabilidad, la germinabilidad y, si corresponde, el estado de dormancia (Frischie et al. 2020).

### **¿A quién se aplican estos estándares?**

Estos Estándares se aplican a proveedores, productores, comerciantes, bancos de semillas nativas, entes reguladores gubernamentales e industriales, así como usuarios finales de semillas nativas. Así mismo, ellos brindan confianza comercial en la compra de semillas nativas al mismo tiempo que establecen normas metodológicas apropiadas para su análisis. Estos Estándares desarrollarán para las semillas nativas lo que ha ocurrido en las empresas comerciales de semillas agrícolas y hortícolas,



**Figura 1.** Elementos clave de la cadena de suministro de semillas. Cada paso se describe en las siguientes secciones de los Estándares. *Colecta/producción de semillas:* se refiere a las fuentes de semillas silvestres y cultivadas. *Procesamiento y almacenamiento:* tratamientos y condiciones de almacenamiento óptimos para alcanzar y conservar el máximo nivel de calidad de las semillas. *Calidad:* medio para obtener una medida de la pureza de la semilla viva, germinable y dormante. *Acondicionamiento:* todos los tratamientos aplicados a la semilla que quiebran la dormancia y aumentan la germinación (posmaduración, estratificación, escarificación, agentes químicos e imprimación) y promueven el éxito del establecimiento (incluido el recubrimiento de la semilla).

donde las “Reglas Internacionales para el Análisis de Semillas” desarrolladas por la ISTA y las “Reglas para el Análisis de Semillas” de la Asociación de Analistas Oficiales de Semillas en los Estados Unidos (AOSA) crearán una plataforma de metodología y principios compartidos bajo común acuerdo para el análisis de semillas. Los consumidores confiaban en que las normas y la regulación basadas en las Reglas ISTA/AOSA garantizaban la calidad de las semillas, un elemento que luego contribuyó a establecer una base comercial sólida para el desarrollo de un mercado global en el comercio de semillas agrícolas y hortícolas. De manera similar, visualizamos que los Estándares permitirán el desarrollo de una industria de semillas nativas sólida y sostenible basada en los principios rectores de los Estándares Internacionales de Restauración (Gann et al. 2019). Estos Estándares de semillas son específicamente para especies silvestres no seleccionadas que hacen parte del sitio o comunidad de referencia del programa de restauración. Los cultivares (materiales genéticos mejorados) de especies silvestres no están cubiertos por los Estándares (ver la siguiente sección).

*“Estos Estándares están diseñados para ser accesibles y prácticos para todos aquellos involucrados en la recolección, producción y uso de semillas nativas y son relevantes en todos los niveles, desde programas comunitarios indígenas hasta empresas comerciales de semillas nativas a gran escala”.*

### **¿Qué constituye una semilla nativa para fines de restauración ecológica?**

Un lote de semillas es apropiado para fines de restauración cuando su diversidad genética es una muestra representativa de la población de origen y esta se preserva, en la medida de lo posible, a lo largo de la cadena de suministro y se distribuye en un sitio de restauración con condiciones ecológicas adecuadas (Erickson & Halford 2020).

Algunos productores de semillas nativas han desarrollado programas de mejoramiento a partir de especies nativas y seleccionan activamente rasgos para mejorar la eficiencia del cultivo de semillas, reducir su costo, mejorar el vigor y, en última instancia, seleccionar variedades que se parecen un poco a la composición genética de la población silvestre original. En algunos casos, se desarrolló una variedad a partir de una sola planta (Native Seed Quality Task Force 2011). Cuando se produzcan tales variedades, las normas de semillas deben seguir las Reglas de ISTA/AOSA y las regulaciones locales pertinentes. Aunque existen usos para este tipo de materiales en programas de revegetación y rehabilitación, generalmente no son aceptables en el marco de lo que se considera restauración ecológica (Gann et al. 2019).

Aunque estos Estándares son aplicables tanto para los programas de conservación como los de restauración, debido al pequeño tamaño de muestra de semillas en colecciones de conservación, los protocolos de muestreo para conservación deben seguir las recomendaciones apropiadas en los lineamientos nacionales e internacionales, como la Red Europea para la Conservación de Semillas Nativas (ENSCONET 2009a, 2009b), los Lineamientos de la FloraBank de Australia (FloraBank 1999) y el programa Seeds of Success de EE. UU. (Bureau of Land Management 2018).

## **Estándares de semillas agrícolas y nativas: ¿son diferentes?**

Existen puntos fundamentales que difieren entre las especies agrícolas y las especies silvestres. Por ejemplo, las Reglas ISTA/AOSA están diseñadas para proporcionar los procedimientos para el análisis de semillas de especies agrícolas, forestales, hortícolas y diversas especies comerciales (flores, especias, hierbas y plantas medicinales). La mayoría de las especies cubiertas por las reglas de semillas de ISTA/AOSA, son el resultado de largos períodos de fitomejoramiento y selección en los que las características de las semillas, como la dormancia y el llenado de semillas, se alteran sustancialmente por razones económicas y de confiabilidad agronómica. Por ejemplo, las principales especies agrícolas tienen de baja a nula dormancia y altos grados de estabilidad genética para garantizar que la variación genética entre temporadas se minimice o elimine. Las cadenas de suministro de semillas agrícolas están diseñadas para mantener la pureza genética de variedades específicas, evitando la polinización cruzada con otros cultivares o formas silvestres y asegurando que no se mezclen semillas de diferentes linajes. Esta información se mantiene en el lote de semillas a lo largo de la cadena de suministro para garantizar la conformidad genética y la fidelidad varietal (especialmente para variedades de la misma especie sin diferencias morfológicas claramente identificables).

En contraste, la semilla nativa representa una amplia diversidad genética indicadora de diversidad parental y adaptación local en las poblaciones silvestres. Estos rasgos son importantes cuando se trata de gradientes y cambios climáticos. Los rasgos genéticos adaptados a las condiciones locales de restauración significan que existe una heterogeneidad genética adecuada que a menudo refleja altos niveles de variación fenotípica. Los monocultivos genéticos son raros en la naturaleza y, por lo tanto, rara vez son válidos en los programas de restauración ecológica. Siendo así, los Estándares abordan la necesidad de incorporar en los lotes de semillas la variabilidad inherente a las poblaciones silvestres y dicha variabilidad no se adapta fácilmente a las referencias existentes, como las Reglas ISTA/AOSA. Para garantizar que la diversidad genética representativa de un ecotipo específico esté correctamente representada, la información sobre la recolección de semillas en el medio silvestre (como ubicaciones, momento de la recolección, recolector) debe mantenerse con el lote de semillas a lo largo de la cadena de suministro hasta el usuario final. Cuando

las semillas nativas se multiplican a través del cultivo, la multiplicación debe realizarse por un número limitado de generaciones, generalmente menos de cinco, para evitar la selección de ciertos rasgos y la consiguiente reducción de la variabilidad genética (Erickson & Halford 2020; Pedrini, Gibson-Roy, et al. 2020).

Estas diferencias entre semillas agrícolas y nativas, en la mayoría de los casos, harían inviable la aplicación de las normas agrícolas y los métodos de análisis tradicionales (ISTA/AOSA) a las semillas nativas (ver la sección Calidad de la semilla). Si bien las Reglas de ISTA están diseñadas para proporcionar una evaluación uniforme de la calidad de las semillas para facilitar el comercio internacional de semillas, estos Estándares de semillas nativas reflejan la naturaleza local y matizada de las semillas silvestres que generalmente se limita a las redes regionales o nacionales de suministro de semillas con un ocasional comercio de semillas nativas transnacional o transfronterizo.

Finalmente, la dormancia es un atributo clave en las semillas nativas pero que se ha eliminado de la mayoría de las semillas de especies agrícolas. La dormancia se refiere al estado morfológico y fisiológico de la semilla que controla la expresión de la germinación. Se recomienda que los proveedores de semillas nativas definan la condición de dormancia y el tratamiento para quebrar la dormancia en un lote de semillas. Dichos tratamientos para romper la dormancia pueden ser aplicados por el proveedor o recomendados a los usuarios finales como un paso necesario para asegurar el despliegue exitoso de semillas con capacidad de germinación.

### **¿Por qué es importante el etiquetado de semillas nativas?**

Las etiquetas son el medio principal para comunicar información sobre semillas entre los proveedores y los usuarios finales. Las etiquetas diseñadas para variedades de semillas agrícolas no son adecuadas para las especies nativas tal como se definen en estos Estándares, ya que tienen campos irrelevantes o carecen de aquellos necesarios para garantizar la calidad de especies nativas destinadas a programas de restauración ecológica. El formato proporcionado está estructurado para reflejar una etiqueta "ideal" y completa para lotes de semillas nativas (Fig. 2). En esta sección se

Especie: \_\_\_\_\_



Número del lote de semillas: \_\_\_\_\_

Colectada en campo

Peso del lote: \_\_\_\_\_

Cultivada

*Logo de la empresa,  
y datos de contacto*

### Fuente semillera

Fecha de colecta: *mes/año* \_\_\_\_\_

Localidad: *estado/provincia, municipio, zona.* \_\_\_\_\_

Sitio: *coordenadas GPS* \_\_\_\_\_

Colector: *nombre de la persona/empresa* \_\_\_\_\_

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Producción controlada (En caso de ser cultivada)

Fecha de cosecha: *mes/año* \_\_\_\_\_

Localidad: *estado/provincia, municipio* \_\_\_\_\_

Número de generaciones : *1-5* \_\_\_\_\_

Productor: *nombre de la empresa* \_\_\_\_\_

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Condiciones de almacenamiento después de la colecta/cosecha. HR% \_\_\_\_\_ T° \_\_\_\_\_

### Prueba de calidad

Fecha de la prueba: *mes/año* \_\_\_\_\_

Realizada por: *nombre de la persona/empresa* \_\_\_\_\_

#### Pureza

Unidad de Semilla Pura USP: \_\_\_\_\_ %

Otras semillas<sup>2</sup>: \_\_\_\_\_ %

Material inerte<sup>3</sup>: \_\_\_\_\_ %

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Peso de 1000 Unidades de Semilla Pura: \_\_\_\_\_ (g).

#### Viabilidad

Unidad de Semilla Viable USV: \_\_\_\_\_ %

Corte  Rayos X  Tetrazolío  Otra

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### Dormancia (si aplica)

Unidad de Semilla Dormante USD: \_\_\_\_\_ %

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### Germinabilidad

Unidad de Semilla Germinable USG: \_\_\_\_\_ %

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### Clase de dormancia (si se conoce)

- Física
- Fisiológica
- Morfológica
- Morfo-fisiológica
- Combinada

Semillas Puras Vivas SPV: \_\_\_\_\_ %

Semillas Puras Germinables SPG: \_\_\_\_\_ %

Semillas Puras Dormantes SPD: \_\_\_\_\_ %

### Acondicionamiento

Fecha del tratamiento: *mes/año* \_\_\_\_\_

Realizado por: *nombre de la persona/empresa* \_\_\_\_\_

#### Quebra de dormancia

Escarificación  Estratificación

Química

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### Imprimación

Hidro  Osmo  Matriz solida

Notas: \_\_\_\_\_

Sustancias protectoras: *fungicidas,*

*pesticidas...*

Promotores: *hormonas, químicos...*

\_\_\_\_\_

#### Revestimiento

Película  Incrustación  Pellet  Otra

Notas: \_\_\_\_\_

Sustancias protectoras: *fungicidas,*

*pesticidas...*

Promotores: *hormonas, químicos...*

\_\_\_\_\_

**Figura 2.** Formato que puede utilizarse tal como se indica en el presente documento o que modificarse en función de las condiciones locales, para el etiquetado de lotes de semillas nativas antes de su venta. El formato se divide en tres secciones basadas en los pasos clave de la cadena de suministro de semillas: colecta/producción, calidad y acondicionamiento.



describen las partes que componen dicho formato, incluyendo cómo deben reportarse las especies, el origen, la recolección y la producción; cómo debe determinarse la calidad; y cómo se debe transmitir la información sobre el estado de dormancia, el preacondicionamiento y el almacenamiento de las semillas. El formato está diseñado para abarcar todos los aspectos posibles de las semillas nativas. Si las empresas o las asociaciones locales de semillas nativas adoptan dicho formato, las secciones que no son relevantes para el tipo de producto/especie (p. ej., producción, dormancia, acondicionamiento) pueden dejarse en blanco, eliminarse o personalizarse adicionando secciones específicas del sitio/región/especie.

Este formato está diseñado para un lote de semillas que comprende una sola especie. La etiqueta de las mezclas, donde las semillas se recolectan o cultivan por separado y luego se mezclan antes de la venta, deben informar la ubicación de la fuente de semillas, la calidad del lote y los tratamientos aplicados para cada especie en la mezcla, junto con el porcentaje del peso de cada especie presente. En los casos de restauración de pastizales, donde los lotes de semillas se cosechan directamente como una mezcla de diferentes especies usando técnicas como pelado de semillas, aspirado y transferencia de heno verde o seco, la etiqueta debe informar el origen, la lista de especies presentes (basado en el estudio de la vegetación antes de la cosecha, la evaluación visual de las semillas o la germinación) y, si es factible, un porcentaje del peso estimado de cada especie. Cuando se trate de dicho material, consulte el *“Manual práctico para la recolección de semillas y la restauración ecológica de pastizales ricos en especies”* (Scotton et al. 2012).

### **¿Es necesaria la certificación para las semillas nativas?**

A medida que la industria global de semillas nativas crezca para satisfacer las demandas de restauración, se podría considerar la certificación con estándares apropiados que sean reconocidos a nivel nacional. Los esquemas de certificación están diseñados para garantizar que los procesos y productos cumplan con las normas y reglamentaciones establecidas por una asociación de productores (industria), organismos reguladores (gobiernos), o ambos. Por ejemplo, en Alemania, en respuesta a una directiva europea (2010/60/UE) que regula la comercialización de semillas nativas de especies de pastizales, dos sistemas de certificación, VWW-

Regiosaaten y RegioZert (Mainz & Wieden 2019), fueron desarrollados por asociaciones locales de productores de semillas nativas. Sin embargo, si las regulaciones no abordan las complejidades y los matices de la cadena de suministro de semillas nativas, se obstaculizará el desarrollo de esquemas de certificación efectivos y mercados de semillas nativas bien estructurados. Por ejemplo, la mencionada directiva europea (2010/60/UE) establece excepciones a la legislación preexistente que regula el mercado de especies forrajeras y, como tal, trata a las semillas nativas de forma similar a los cultivares y variedades genéticamente mejoradas, limitando así su aplicabilidad efectiva a las cadenas de suministro de semillas nativas (Tischew et al. 2011).

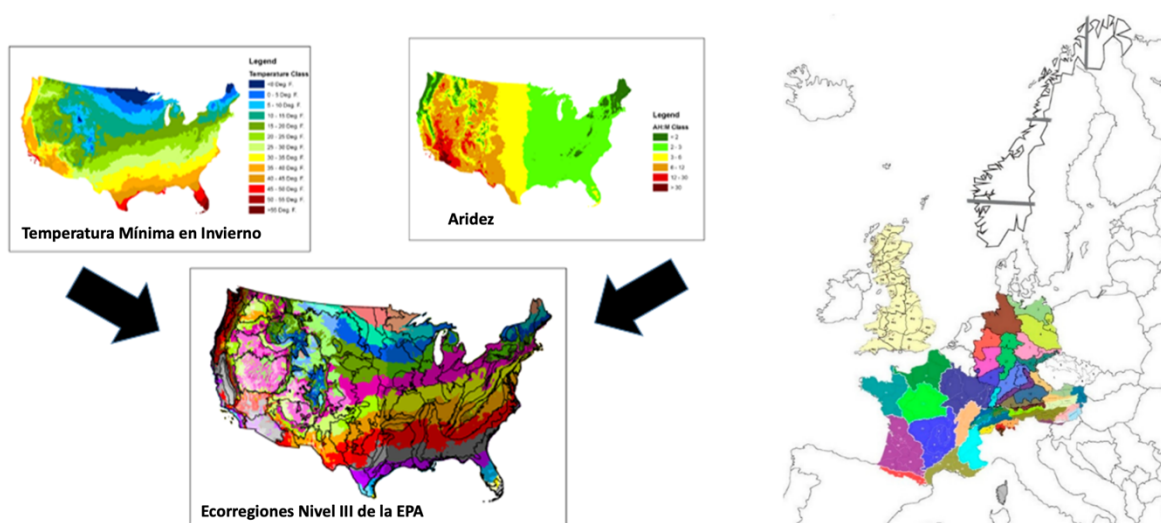
Los principios y estándares descritos en este documento brindan la base para el siguiente paso lógico hacia el desarrollo de la certificación de proveedores y laboratorios de análisis de semillas nativas. Dichos enfoques de certificación pueden considerarse en futuras ediciones de estos estándares.

## **ORIGEN, RECOLECCIÓN Y CULTIVO DE SEMILLAS**

Un principio rector en la restauración ecológica es el uso de un sitio o ecosistema de referencia nativo apropiado (ver Gann et al. 2019 para obtener una guía detallada sobre cómo seleccionar una referencia nativa). Por lo tanto, la composición genética de una especie en el sitio de referencia se refleja en el sitio restaurado para garantizar, en la medida de lo posible, la concordancia del recurso genético. Siendo así, la recolección de semillas de áreas silvestres o de áreas destinadas a la producción de semillas (APs) debe indicar el origen y los detalles del sitio de recolección. Se deben tener en cuenta otros factores durante la recolección de semillas del medio silvestre para representar efectivamente la diversidad genética de la población donante sin dañar su capacidad reproductiva (Pedrini, Gibson-Roy, et al. 2020)

Como se detalla en el documento *Planificación, abastecimiento y adquisición de semillas* de este número especial (Erickson & Halford 2020) y el Apéndice 1 de Gann et al. (2019), la procedencia es difícil de predeterminar en ausencia de estudios genéticos o fenotípicos para guiar los sitios de recolección de semillas genéticamente apropiadas.

Los enfoques ecorregionales que definen áreas que abarcan geología, clima, suelos, hidrología y vegetación similares u otros descriptores geográficos pueden guiar las zonas de recolección y transferencia de semillas. Cuando dicha información se combina con información genética y ecológica específica de la especie y el conocimiento local, es posible estimar una zona de recolección de semillas como se ha hecho en los Estados Unidos (Bower et al. 2014) y algunos países europeos (De Vitis et al. 2017) (Fig. 3).



**Figura 3.** Zonas semilleras en Estados Unidos y Europa: Izquierda: las zonas de semillas provisionales de Estados Unidos para plantas autóctonas (polígonos de color) son áreas únicas, delimitadas climáticamente (temperatura-aridez) anidadas dentro de los límites de la ecorregión de nivel III de la EPA (líneas negras). Las zonas provisionales pueden utilizarse para orientar las decisiones de colecta de semillas cuando se carece de información genética específica de la especie (Bower et al. 2014). Derecha: Zonas nacionales de semillas desarrolladas para los países europeos (De Vitis et al. 2017). Permiso concedido.

Los recolectores de semillas deben consultar las guías locales o nacionales para obtener orientación o buscar la opinión de expertos sobre lo que constituye una zona de recolección o transferencia de semillas o una procedencia relevante para el sitio de restauración en cuestión antes de emprender un programa de recolección de semillas.

Cinco clases clave de tipo de fuente de semillas se proporcionan en Gann et al. (2019) y los usuarios finales deben usar esto para guiar sus requisitos de plantación. Las clases de fuente son: procedencia local estricta, procedencia local flexible, procedencia compuesta, procedencia mezclada y procedencia predictiva.

## **Directriz 1**

- 1.1 La semilla está acompañada por un nombre de especie taxonómicamente válido, de acuerdo con las normas de nomenclatura botánica reconocidas a nivel nacional.
- 1.2 Especificar si el lote de semillas es de cosecha silvestre o se ha multiplicado mediante cultivo.
- 1.3 Proporcionar información sobre la fuente de semillas silvestres, incluyendo: ubicación georreferenciada, fecha de recolección y recolector. Esta información debe ser mantenida y monitoreada a lo largo de la cadena de suministro de semillas y proporcionada al usuario final con el lote de semillas.
- 1.4 Para colecciones de nuevas especies o material con estatus taxonómico incierto, deben tomarse ejemplares botánicos cuyos números de identificación coincidan con el número de accesión de la colección de semillas.

## **Recolección de semillas de poblaciones silvestres**

Las demandas globales de restauración pretenden que, por el momento, la mayoría de las semillas provengan de poblaciones silvestres. En algunos casos, particularmente en los puntos críticos de biodiversidad mundial donde queda menos del 30% de la vegetación original, existe una demanda aún mayor de semillas para la restauración, lo que puede resultar en una presión considerable sobre los pocos ecosistemas naturales que quedan. El abastecimiento ético de semillas recolectadas en medio silvestre (Nevill et al. 2018) y cuidado con el manejo y gestión poscosecha de la semilla son fundamentales para obtener la mayor cantidad posible de semillas viables y que cada semilla cuente en el programa de restauración.

## **Directriz 2**

- 6.1 Para proteger la viabilidad de las poblaciones donantes silvestres, no se debe recolectar más del 20% de las semillas producidas en una temporada. Para especies anuales, puede ser hasta el 10%.
- 6.2 Para representar adecuadamente la diversidad genética de la población, las semillas deben ser recolectadas de múltiples individuos escogidos al azar. Para grandes rodales continuos, es más apropiado un enfoque más sistematizado, como un muestreo regular a lo largo de un transecto.
- 6.3 Para asegurar una buena semilla que esté madura y lista para la cosecha, se debe tomar una pequeña muestra y realizar una evaluación visual de la madurez o llenado de la semilla antes de comenzar la recolección de semilla.

## **Producción controlada de semillas**

Las áreas de producción de semillas (APSs) incluyen rodales silvestres manejados y campos cultivados de especies nativas. Las semillas producidas en APSs requieren consideraciones que pueden ser diferentes a las de las semillas de origen silvestre, como la evidencia de que se ha conservado la fidelidad genética y que no hay hibridación inducida o deriva genética a través del proceso de producción de semillas.

## **Directriz 3**

- 3.1 El lote de semillas de las APSs debe incluir información sobre:
  - (a) El número de generaciones de la colección original de semillas silvestres. El número de generaciones no debe ser mayor a cinco antes de reabastecer utilizando genotipos originales de origen silvestre.
  - (b) Se debe especificar la ubicación del cultivo, el nombre de la empresa o persona responsable del cultivo y la fecha de cosecha.
- 3.2 Se debe prevenir la hibridación potencial con individuos silvestres que crecen naturalmente en la región de las APSs asegurando que las especies silvestres estén más alejadas de la zona de deriva de polinización de la APSs.

3.3 Se debe prevenir la hibridación interespecífica cuando se cultiven especies relacionadas y asegurar que los linajes de procedencia se mantengan libres de cruzamiento.

*Nota:* Es importante que la semilla producida a partir de una APS tenga características de almacenamiento, dormancia y germinabilidad conocidas, ya que pueden variar de las de la semilla de origen silvestre.

## **PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS**

El manejo correcto de las semillas después de la cosecha de áreas silvestres o cultivadas es crucial para garantizar que la calidad de las semillas se mantenga en un alto nivel. El material recolectado debe evaluarse visualmente para garantizar que las semillas estén maduras, sanas, sin depredación y libres de infecciones bacterianas o fúngicas. Para las especies con producción esporádica de semillas y maduración asincrónica (p. ej., especies de bosques tropicales), las diásporas o frutos pueden recolectarse precozmente y mantenerse en condiciones apropiadas para permitir la posmaduración. La semilla debe transportarse en un estado seco y ventilado hacia el establecimiento de procesamiento y almacenamiento.

Se recomienda procesar las semillas si el lote recolectado o cosechado contiene impurezas y materiales inertes y semillas de otras especies. Una amplia gama de métodos y técnicas de procesamiento de semillas se describen en el artículo sobre procesamiento y calidad de semillas de este número especial (Frischie et al. 2020). Las tecnologías emergentes que son prometedoras para mejorar el procesamiento, la manipulación y la germinación de las semillas incluyen el flameo rápido y la digestión ácida (Stevens et al. 2015; Guzzomi et al. 2016; Pedrini et al. 2019). El procesamiento se realiza para maximizar la pureza del lote, sin degradar la integridad y viabilidad de las semillas. Luego, las semillas deben almacenarse en condiciones ambientales apropiadas que maximicen su longevidad.

La humedad relativa, generalmente registrada como porcentaje de humedad relativa (%HR), se correlaciona con el contenido de humedad de la semilla. El alto contenido de humedad de las semillas acelera el proceso de envejecimiento de las

semillas y puede proporcionar las condiciones ideales para la contaminación por hongos que conduce a la pérdida de semillas. El nivel de HR del 15% generalmente se considera seguro para el almacenamiento de semillas y debe adoptarse para el almacenamiento de semillas ortodoxas. Cuando haya un conocimiento limitado de las condiciones de almacenamiento, se deben realizar pruebas empíricas de las tolerancias de las semillas al 15% de HR antes de comenzar el almacenamiento a largo plazo.

La temperatura óptima para asegurar la viabilidad de la semilla para el almacenamiento a mediano plazo es de 15 °C. Para el almacenamiento a largo plazo, la semilla debe almacenarse (después del secado apropiado) a -18 °C.

*Nota:* Para las especies recalcitrantes, cuya semilla no se puede secar, el almacenamiento a mediano o largo plazo no es factible y las semillas se deben usar poco después de ser cosechadas (dependiendo de la especie, esto puede ser semanas o meses).

#### **Directriz 4**

- 4.1 Para el adecuado manejo de semillas después de la recolección o cosecha, se requiere que el lote de semillas se seque (las semillas sensibles a la desecación requerirán solo un secado moderado, teniendo en cuenta que dichas semillas pueden morir fácilmente al secarse) tan pronto como sea posible y se transporten secas, frías y, si es necesario, ventiladas para evitar condensación, acumulación de humedad y moho mientras se entregan al establecimiento de procesamiento y almacenamiento.
- 4.2 *Procesamiento de semillas:* si el lote de semillas contiene impurezas (hojas, flores, ramas, tierra, rocas, semillas vacías o depredadas) o semillas de diferentes especies, el lote debe procesarse con el mayor cuidado posible para garantizar una alta pureza de la semilla. Los métodos y técnicas de procesamiento se describen en Frischie et al. (2020).
- 4.3 La semilla debe equilibrarse a 15% HR y 15 °C hasta que alcance un contenido de humedad de entre 5 y 10%. El contenido de humedad de la semilla se determina usando los métodos descritos en De Vitis et al. (2020).

**Especie:** \_\_\_\_\_

Número del lote de semillas: \_\_\_\_\_

Peso del lote: \_\_\_\_\_

Colectada en campo

Cultivada



Logo de la empresa,  
y datos de contacto

<b>Fuente semillera</b> Fecha de colecta: <i>mes/año</i> _____ Localidad: <i>estado/provincia, municipio, zona.</i> _____ Sitio: <i>coordenadas GPS</i> _____ Colector: <i>nombre de la persona/empresa</i> _____ Notas: _____ _____	<b>Producción controlada</b> (En caso de ser cultivada) Fecha de cosecha: <i>mes/año</i> _____ Localidad: <i>estado/provincia, municipio</i> _____ Número de generaciones : <i>1-5</i> _____ Productor: <i>nombre de la empresa</i> _____ Notas: _____ _____
<b>Condiciones de almacenamiento después de la colecta/cosecha.</b> HR% _____ T° _____	

**Figura 4.** Detalles de la sección del formato asociada al origen, cultivo y almacenamiento de las semillas.

- 4.4 Una vez alcanza el contenido de humedad deseado, la semilla se puede almacenar en las mismas condiciones o en recipientes herméticos a la temperatura de almacenamiento adecuada.
- 4.5 La humedad relativa y la temperatura de las instalaciones donde se almacena el lote de semillas deben monitorearse e informarse en el formulario de suministro de semillas (Fig. 4)

## CALIDAD DE LA SEMILLA

El objetivo de la evaluación de la calidad es obtener información sobre la pureza, viabilidad, germinabilidad y, si está presente, dormancia de un lote de semillas nativas. Los resultados de estas pruebas:

- Brindan información importante al proveedor de semillas (recolectores-productores) con respecto a los métodos y estrategias de recolección y cultivo.
- Determinan el valor del lote de semillas como producto de restauración.
- Informan al usuario de semillas sobre los resultados de desempeño esperados.



- Aseguran al usuario de semillas la cantidad de semillas germinables/viables compradas.

La falta de dicha información puede llevar al usuario final a suponer que todas las semillas del lote son viables y fácilmente germinables y, por lo tanto, sobreestimar el resultado de restauración esperado.

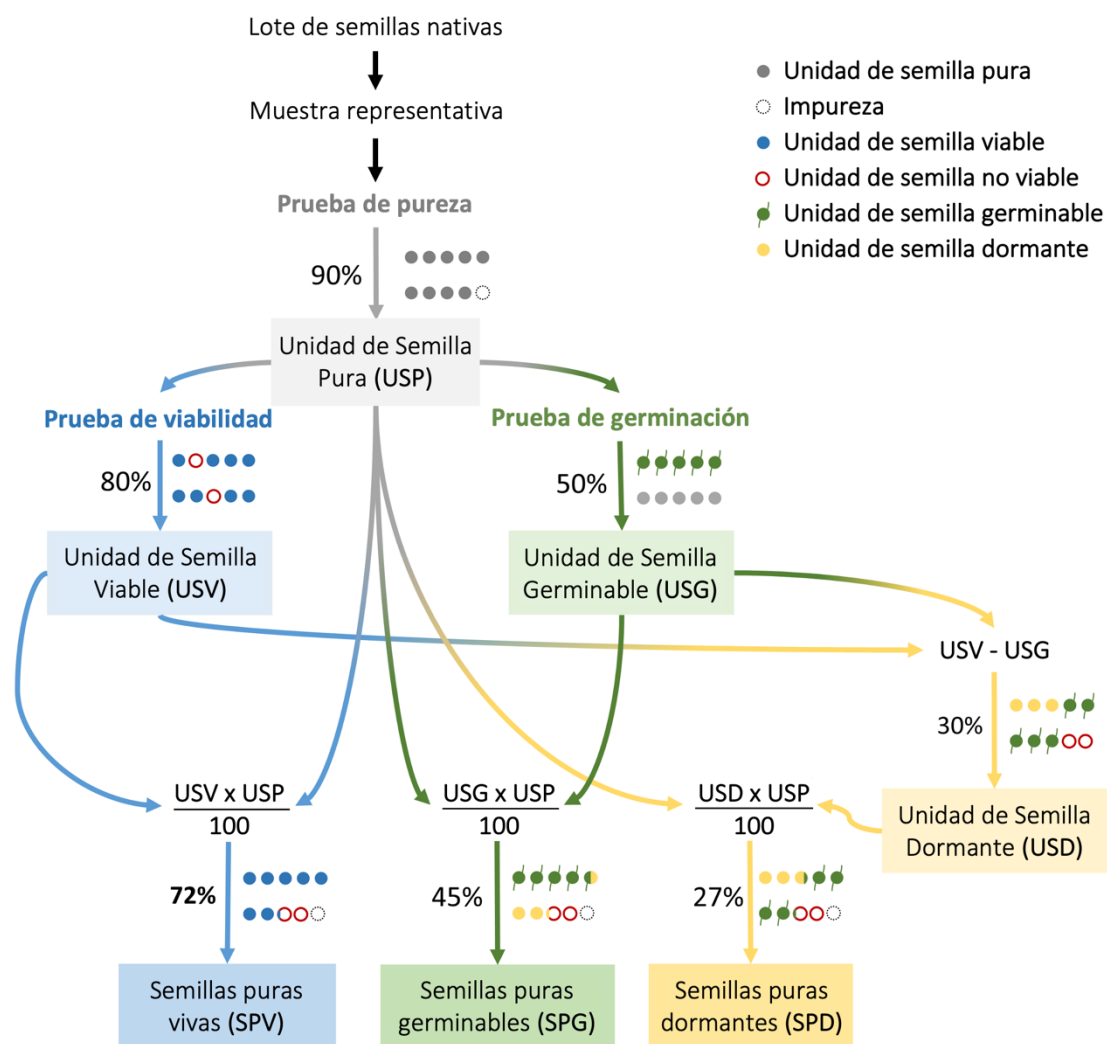
Las normas de análisis de semillas de cultivos establecen umbrales específicos para cada especie o variedad en cuanto a los niveles mínimos de calidad y tolerancia que deben alcanzarse para que un lote de semillas se considere aceptable para la venta. Sin embargo, debido a la alta variabilidad potencial dentro de un lote de semillas y la gran diversidad de morfología, fisiología, tolerancia a la desecación y tipo de dormancia de las semillas nativas, los enfoques descritos en las Reglas Internacionales para Pruebas de Semillas de ISTA (International Seed Testing Association 2019) y AOSA (Association of Official Seed Analysts 2019) deben adaptarse y personalizarse especie por especie. Esto requerirá el desarrollo de un protocolo de prueba de calidad de semillas para una especie o grupo de especies que comparten atributos similares. Sin embargo, las especies silvestres, en contraste con las variedades de cultivos y hortícolas, pueden variar en el estado de dormancia, la masa de semillas, la pureza y la calidad a lo largo de las estaciones y en los rangos geográficos, topográficos y edáficos.

Las normas de análisis de semillas de cultivos proporcionan umbrales específicos de calidad mínima y niveles de tolerancia que deben alcanzarse para que un lote de semillas de una determinada especie o variedad se considere aceptable para la venta. Sin embargo, para las semillas nativas, la calidad de diferentes lotes de la misma especie puede variar mucho, puesto que las variables genéticas y ambientales de las semillas de origen silvestre están fuera del control del proveedor. Por lo tanto, no es razonable establecer requisitos mínimos de calidad estandarizados; no obstante, se deben realizar pruebas de calidad y comunicar los resultados al usuario de semillas.

Para garantizar la imparcialidad de los resultados de los análisis, las pruebas de calidad de las semillas deben ser realizadas por laboratorios certificados e independientes. Si dicho servicio no está disponible, la evaluación de la calidad de la

semilla puede ser realizada por el proveedor e indicarse en la etiqueta de la semilla suministrada (Fig. 6). Para generar confianza en el proceso de autodiagnóstico de lotes de semillas nativas, se podría implementar un sistema de licencias para los proveedores de semillas, si fuera necesario.

La siguiente sección describe los métodos comunes de prueba de calidad de semillas y un marco para su aplicación en semillas nativas. Los procedimientos y análisis clave necesarios para realizar una prueba integral de la calidad de la semilla se ilustran en la Figura 5 y se describen en la siguiente sección.



**Figura 5.** Pruebas de calidad de semillas nativas y resultados utilizados para obtener indicadores clave: USP, USG, USD, SPV, SPG y SPD. Entre cada prueba, se ilustra un lote de semillas modelo con valores indicativos de los porcentajes de peso. Esta es una de las metodologías para determinar las

semillas puras vivas/germinables/dormantes. En la sección "*Pruebas alternativas de viabilidad determinadas por germinabilidad*" se ilustran otros flujos de trabajo posibles.

### **Directriz 5\***

- 5.1 La muestra debe ser representativa de todo el lote de semillas.
- 5.2 Si el lote de semillas recibió un tratamiento de acondicionamiento (p. ej., recubrimiento o imprimación), las pruebas de calidad deben realizarse en las semillas tratadas.
- 5.3 Realizar una prueba de pureza e indicar el porcentaje de Unidades de Semillas Puras (USP), material inerte y semillas contaminantes (especies no objetivo) presentes en el lote como porcentaje en peso.
- 5.4 Realizar una prueba de viabilidad (en la medida de lo posible) para determinar el porcentaje de USP que son viables (USV), indicando el método utilizado para determinar la viabilidad.
- 5.5 En la medida de lo posible, realizar una prueba de germinabilidad que proporcione el porcentaje promedio de USP que son fácilmente germinables (unidades de semillas germinables [USG]).
- 5.6 La diferencia entre la USV y USG representa la unidad de semillas dormantes (USD). USD es el porcentaje de semillas que son viables, pero que no pueden germinar debido a la dormancia. Si se detecta dormancia, se debe indicar la clase de dormancia (basado en la literatura o la opinión de expertos) y, cuando sea posible, proporcionar un método adecuado para quebrarla.
- 5.7 Las semillas puras vivas (SPV), las semillas puras germinables (SPG) y las semillas puras dormantes (SPD) brindan información sobre el porcentaje en peso del lote de semillas que puede considerarse viable, germinable y dormante. PSV, PSG y PSD se pueden calcular a partir de USV, USG y USD, respectivamente, multiplicados por USP.
- 5.8 PSD es el porcentaje de semillas en el lote que son viables, pero que no pueden germinar fácilmente debido a la dormancia.

\* Debe ser leído junto con el diagrama de flujo de calidad de semilla en la Figura 5.

*Nota:* Es necesario cumplir estrictamente con las pautas fitosanitarias locales para evitar la propagación de posibles plagas y enfermedades, lo que incluye evitar semillas de malezas en las semillas suministradas.

## **Muestreo**

Para realizar análisis de pureza, viabilidad y germinabilidad es necesario tomar una submuestra adecuada del lote de semillas. Dichos análisis son particularmente importantes después de la recolección o cosecha de un lote de semillas y, en caso de que este haya sido almacenado durante largos períodos, antes de su despliegue en campo. En el caso de las especies nativas, el análisis suele mostrar que es necesario realizar un nuevo muestreo, lo que refleja la incertidumbre que existe en torno a las condiciones de almacenamiento de muchas especies silvestres y la posible pérdida de viabilidad a lo largo del ciclo de almacenamiento.

## **Directriz 6**

- 6.1 Deben tomarse muestras representativas de partes homogeneizadas del lote de semillas, teniendo en cuenta que puede producirse sedimentación durante el transporte y procesamiento.
- 6.2 En el caso de las semillas libres de apéndices u otras estructuras adicionales, el muestreo deberá tomarse de partes representativas del contenedor donde se encuentran almacenadas. Dispositivos de muestreo, como los dispositivos Trier (que vienen en varias formas, incluyendo mangos simples y dobles), pueden utilizarse con lotes grandes (> 5 kg) en los que el diámetro de los orificios de muestreo es 2-3 veces mayor que el de la semilla más grande (lo que hace que la muestra incluya semillas de otras especies y otros residuos). *Nota:* en el caso de las semillas pequeñas puede ser necesario un muestreo discreto con espátulas a partir de muestras extendidas.
- 6.3 Es necesario asegurarse que las muestras sean representativas. Si visualmente no parecen ser uniformes, vuelva a tomarlas para garantizar la uniformidad.
- 6.4 En el caso de las semillas grandes o con apéndices que dificulten el procesamiento, puede ser necesario el muestreo manual o el uso de

dispositivos con ventosas. Es necesario realizar una inspección visual para garantizar la conformidad de las submuestras.

- 6.5 En el caso de los contenedores con muestras de hasta 20 kg, cada contenedor deberá muestrearse siguiendo las normas de la AOSA para el análisis de semillas o las directrices de la ISTA sobre la intensidad del muestreo. *Si se cuenta con hasta 6 contenedores, deberán tomarse muestras al azar de todos ellos. Cuando el número de contenedores sea superior a seis, por ejemplo, de 7 a 14 contenedores, se recogerán seis muestras; siete muestras de 15 a 24 contenedores; ocho muestras de 25 a 34 contenedores ... 15 muestras de 95 a 104 contenedores.*
- 6.6 Las muestras constarán de 400, preferiblemente 800, USPs (véase la sección de pureza) por muestra, denominada "muestra primaria". La muestra primaria es analizada y un subconjunto conocido como "muestra de trabajo" se somete a pruebas de pureza, viabilidad y germinabilidad. Las semillas que han sido tratadas con materiales de recubrimiento deben constar de 1.000 a 2.000 unidades recubiertas para las pruebas de germinación.
- 6.7 Si las muestras son enviadas a un laboratorio de análisis de semillas, deberán estar debidamente selladas para evitar la entrada de humedad y protegidas contra el aplastamiento durante el transporte.

***Preparación de las muestras de trabajo para el análisis de semillas.*** Una submuestra de la muestra primaria, conocida como muestra de trabajo, corresponde a las semillas que se someten a las pruebas de pureza (véase la sección sobre pureza). Esta submuestra debe tomarse de manera que se garantice su representatividad. Cuando las muestras primarias son grandes, se utilizan submuestreadores o divisores mecánicos (que incluyen dispositivos Riffle, cónicos, divisores Boerner y centrífugas) para asegurar que se utiliza una muestra imparcial y representativa (véase la sección 2 de las normas de la AOSA para conocer las especificaciones de los dispositivos). Si no se dispone de divisores mecánicos, también se puede emplear la mezcla manual, en la que la muestra se extiende uniformemente sobre una superficie plana y se nivela, para luego dividirla por la mitad. La mezcla manual y el muestreo con cuchara pueden aplicarse a las semillas pequeñas o a los lotes de semillas de pequeños.

## **Número recomendado de USP para evaluar el número de semillas puras**

Se selecciona suficiente material para determinar el peso del material de partida para obtener de 100 a 500 USPs. El número de unidades de semillas por gramo depende de la especie y se basa en el tamaño, la facilidad de clasificación y el grado de pureza. Repetir al menos tres veces a partir de muestras de trabajo adicionales.

## **Número de semillas viables**

A partir de la prueba de pureza, tomar una submuestra de 100 USPs para la prueba de viabilidad.

## **Número de semillas de germinables**

A partir de la prueba de pureza, se someten cuatro réplicas de 25 semillas cada una a la prueba de germinación, normalmente en agar, arena húmeda o papel de germinación. Para las semillas muy grandes se utilizará menos cantidad, como en el caso de muchas especies sensibles a la desecación.

## **Peso de 1.000 semillas**

Este valor se utiliza en varias bases de datos y se determina tomando cuatro muestras de 50 USPs y calculando el peso esperado de mil semillas.

*Nota:* La base de datos del Banco de Semillas del Milenio (<https://data.kew.org/sid/>) contiene el peso de mil semillas para un amplio número de especies de muchos países. Es una guía útil para conocer el tamaño de las semillas de algunas especies silvestres.

## **Pureza**

La prueba de pureza se realiza en una muestra de trabajo representativa (véase la sección de muestreo) para estimar el porcentaje de peso del lote que debe

considerarse como semilla pura. Se puede lograr una alta pureza de las semillas mediante prácticas cuidadosas e informadas de recolección o cultivo de semillas y la aplicación correcta de técnicas de procesamiento y limpieza. La prueba de pureza se realiza separando la muestra en tres fracciones: USPs, semillas de otras especies y material inerte.

**Unidades de semillas puras.** Lo que se considera una USP varía de una especie a otra. Las normas de la ISTA proporcionan una lista de 63 tipos de unidades de semillas para aproximadamente 450 géneros. Por ejemplo, se describen nueve tipos diferentes de aquenios, cinco tipos de vainas y ocho tipos de espiguillas. Aunque el género de alguna especie nativa no aparezca en la lista, podría clasificarse en uno de los tipos de unidad de semilla descritos por la ISTA. Si ninguna de las definiciones disponibles es aplicable, habrá que describir un nuevo tipo de unidad de semilla.

*"A diferencia de las directrices de la ISTA y de la AOSA para las unidades de semillas puras, aquí categorizamos como material inerte las semillas subdesarrolladas, germinadas, infectadas, anormales, de tamaño insuficiente o dañadas, incapaces de una germinación normal".*

## **Directriz 7**

- 7.1 Las semillas de la especie de interés que, tras una evaluación visual durante la separación de las fracciones, parezcan sanas y potencialmente viables deben considerarse USPs.
- 7.2 Las semillas de otras especies en el lote de semillas (otras especies nativas o malezas) deben contabilizarse y reportarse. Si es posible, esas semillas deben ser evaluadas para determinar si se trata de una especie potencialmente invasora. Otras especies detectadas deben ser reportadas en el campo "notas" en la sección de pureza del formato (Fig. 6)
- 7.3 El material inerte se contabiliza y representa todos los componentes que no se consideran semillas ni son esenciales para la germinación de la semilla de interés, como las semillas vacías, rotas, dañadas,

subdesarrolladas o anormales; los fragmentos de hojas, tallos, ramas y tierra, y cualquier otra impureza.

## Prueba de calidad

Fecha de la prueba: mes/año

Realizada por: nombre de la persona/empresa

<p><b>Pureza</b></p> <p>Unidad de Semilla Pura USP: _____ %</p> <p>Otras semillas<sup>2</sup>: _____ %</p> <p>Material inerte<sup>3</sup>: _____ %</p> <p>Notas: _____</p> <p>_____</p> <p>Peso de 1000 Unidades de Semilla Pura: _____ (g).</p>	<p><b>Viabilidad</b></p> <p>Unidad de Semilla Viable USV: _____ %</p> <p><input type="checkbox"/> Corte <input type="checkbox"/> Rayos X <input type="checkbox"/> Tetrazolío <input type="checkbox"/> Otra</p> <p>Notas: _____</p>	<p><b>Germinabilidad</b></p> <p>Unidad de Semilla Germinable USG: _____ %</p> <p>Notas: _____</p>
	<p><b>Dormancia</b> (si aplica)</p> <p>Unidad de Semilla Dormante USD: _____ %</p> <p>Notes: _____</p>	<p>Clase de dormancia (si se conoce)</p> <p><input type="checkbox"/> Física</p> <p><input type="checkbox"/> Fisiológica</p> <p><input type="checkbox"/> Morfológica</p> <p><input type="checkbox"/> Morfo-fisiológica</p> <p><input type="checkbox"/> Combinada</p>
<p><b>Semillas Puras Vivas SPV:</b> _____ %</p>	<p><b>Semillas Puras Germinables SPG:</b> _____ %</p>	<p><b>Semillas Puras Dormantes SPD:</b> _____ %</p>

**Figura 6.** Sección del formato relacionada con la prueba de calidad de las semillas. Las casillas se rellenan según sea necesario en función de las circunstancias locales y de la capacidad técnica local. Si las semillas de una especie no presentan dormancia, dicha sección permanece en blanco.

## Métodos para el análisis de pureza

Los resultados de la prueba de pureza son importantes para los recolectores y productores de semillas y proporcionan información valiosa sobre los métodos de recolección y cultivo, así como indicaciones para mejorar la fase de procesamiento y limpieza.

### Directriz 8

- 8.1 Dividir la muestra de semillas en tres fracciones iguales, ya sea mediante la separación manual, el uso de tamices (para filtrar el material según el tamaño) o el uso de un chorro de aire (que separa las fracciones de diferente densidad). Un microscopio de disección puede ayudar a clasificar la muestra en busca de semillas pequeñas o diminutas (como es el caso de las semillas de orquídeas).



- 8.2 Evaluar si las unidades de semillas están llenas o vacías aplicando presión a la unidad de semillas con pinzas (o para semillas más grandes entre papel o apretando con las uñas). Un diafanoscopio que proporcione una iluminación subestática o rayos X (véase la siguiente sección) son útiles para determinar si las unidades de semillas están llenas o vacías.
- 8.3 Cada fracción debe pesarse y presentarse como un porcentaje del total (suma de las tres fracciones). Si se detectan semillas de especies exóticas potencialmente invasoras en la "fracción de otras semillas", esto debe ser reportado.

*"Aunque son útiles, los resultados de la prueba de pureza por sí solos no proporcionan información sobre la viabilidad o germinabilidad de las unidades de semillas puras, y no deben utilizarse como predictor de los resultados de la germinación de las semillas".*

### **Determinación del peso de las semillas**

Una vez obtenidas las USPs del lote de semillas, se puede determinar el peso de una cantidad fija de unidades de semillas (normalmente mil, medida conocida como "peso de mil semillas"; PMS). Esta información es relevante para los usuarios finales a la hora de componer mezclas de semillas y calibrar las tasas de siembra (Shaw et al. 2020).

### **Directriz 9**

- 9.1 El PMS de muchas especies nativas está disponible en la base de datos de semillas "SID" desarrollada por el Banco de Semillas del Milenio (<https://data.kew.org/sid/>). Si no se dispone de información sobre una especie, el PMS puede estimarse registrando el peso de cuatro réplicas ( $R_{1-4}$ ) de 50 USPs y aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Peso de mil semillas (PMS)} = \left( \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{4} \right) \times 20$$

## **Viabilidad**

Las pruebas de viabilidad se realizan para determinar el porcentaje de semillas del lote que están vivas y podrían germinar. Se han estandarizado diferentes métodos para estimar la viabilidad de las semillas; sin embargo, debido a la complejidad y diversidad de las semillas nativas, algunos métodos requieren una evaluación y calibración cuidadosa antes de ser fiables para la determinación de la viabilidad. Los métodos más comunes para evaluar la viabilidad son la prueba de corte, los rayos X y la prueba de tetrazolio. Las pruebas de germinabilidad también pueden utilizarse como sustitutos de las pruebas de viabilidad. No obstante, estas deben combinarse con una prueba de viabilidad para determinar si las semillas que no germinan son en realidad viables, pero dormantes, o incluso inviables.

**Unidad de semilla viable.** Las pruebas de viabilidad se realizan con las USPs obtenidas en la prueba de pureza y están diseñadas para estimar el porcentaje de unidades de semillas viables (USV) presentes en una muestra de semillas puras. El porcentaje de USV puede considerarse en relación con el peso de la muestra, suponiendo que el peso de una unidad de semilla viable y una no viable es el mismo. Esta suposición depende de lo que se considera una USP para las semillas nativas (véase la sección sobre pureza).

**Prueba de corte.** Este método es una forma sencilla y eficaz de estimar la viabilidad. La unidad de semilla se divide en dos con un bisturí, un cuchillo u otro instrumento afilado y se examina su contenido interno. Las semillas viables tienen un endospermo blanco y turgente (sin contracción evidente), y un embrión que no presenta decoloración ni contracción observables. Si hay partes internas de la semilla que faltan o parecen estar arrugadas, enfermas, infectadas, desprendidas o anormales, la semilla podría considerarse no viable.

Esta prueba requiere un buen conocimiento de la morfología de la semilla y experiencia en el análisis de la especie. La calibración de la técnica puede realizarse combinándola con otras pruebas de viabilidad o con una prueba de germinabilidad. Una limitación de esta prueba es que puede sobrestimar la viabilidad de las semillas

que parecen sanas pero que han perdido la capacidad de germinar (es decir, semillas muertas).

## **Directriz 10**

10.1 Para determinar la viabilidad mediante la prueba de corte, deberán utilizarse mínimo 100 semillas seleccionadas aleatoriamente de la USP. Las semillas deben sujetarse firmemente y dividirse longitudinalmente con un instrumento afilado, como un bisturí. Seguidamente, se inspeccionan las mitades (un microscopio de disección es útil sobre todo para la inspección del embrión) en busca de indicios de decoloración o encogimiento del endospermo o del embrión que indiquen que una semilla no es viable. Se debe reportar la Unidad de Semilla Viable (USV)-Prueba de Corte, como un porcentaje de la USP.

**Rayos X.** La evaluación de la imagen de rayos X permite determinar qué unidades de semillas parecen intactas y probablemente viables. Este procedimiento no intrusivo retiene las semillas viables después de la imagen, por lo que puede combinarse con otras pruebas para estimar la viabilidad y la germinabilidad y así mejorar la precisión de la predicción y la calibración. Al igual que la prueba de corte, este método no evalúa como tal la viabilidad de las semillas y, por lo tanto, puede sobrestimar la viabilidad del lote.

## **Directriz 11**

11.1 Colocar en la máquina de rayos X entre 25 y 100 unidades de semilla muestreadas al azar (según el tamaño de la semilla) y se exponen a rayos X durante una duración e intensidad suficientes para penetrar las estructuras externas de la semilla (por ejemplo, la cubierta de la semilla, el fruto, el pericarpio o los floretes) para permitir la visualización de la estructura interna de la semilla. Se debe reportar la unidad de semilla viable (USV)-radiografía, como porcentaje de la USP.

**Prueba del tetrazolio.** La prueba del tetrazolio es considerada la prueba de viabilidad más completa, pero puede llevar mucho tiempo y requiere operadores capacitados y entrenados para realizarla y evaluarla correctamente, así como de conocimiento y experiencia previa con la especie. Esta prueba implica el uso del cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio, conocido comúnmente como tetrazolio (TZ). Este compuesto reacciona con los iones de hidrógeno liberados por las células vivas durante la respiración, formando un compuesto rojo insoluble llamado trifenilformazán; el cual se observa como una mancha roja-rosada en las partes de la semilla donde la deshidrogenasa está activa, asumiendo que esto es un reflejo de la vitalidad celular. Muchas semillas pueden contener tejido muerto que no se colorea, formando así un mapa "topográfico" del patrón de tinción en la semilla. En el caso de las semillas nativas, es importante entender la morfología de la semilla que está siendo analizada para que el patrón de tinción del tejido vivo refleje la viabilidad de la semilla.

## **Directriz 12**

La prueba de tetrazolio se realiza como se describe a continuación:

- 12.1 *Tamaño de la muestra:* esta prueba debe realizarse en un mínimo de 50 semillas muestreadas al azar de las USP.
- 12.2 *Remojo:* Las semillas deben humedecerse por imbibición con agua (entre papel mojado o empapadas en agua a 20 °C durante 12-24 horas). En el caso de las semillas con cubiertas impermeables, estas deben ser escarificadas para permitir la entrada de agua. El humedecimiento ablanda la unidad de la semilla para facilitar la exposición del tejido al TZ y su respectiva reacción química.
- 12.3 *Exposición de los tejidos:* Los tejidos de la semilla deben ser expuestos antes de la tinción con TZ. Dependiendo de la estructura de la semilla, esto puede hacerse mediante un corte (transversal o longitudinal) con un instrumento afilado, la extracción del embrión o la eliminación completa de la cubierta seminal. Para más información, consulte las normas de la ISTA o de la AOSA en la sección de pruebas de tetrazolio.
- 12.4 La semilla se sumerge en una solución acuosa de TZ al 1% a 30 °C durante 2 a 24 horas dependiendo de la especie (normalmente entre 12 y 24

horas). Las directrices de la ISTA proporcionan la especificación de la prueba TZ para varias especies agrícolas, árboles y arbustos. La AOSA proporciona especificaciones para un conjunto geográficamente limitado de especies nativas a nivel de género.

12.5 *Evaluación/interpretación del patrón de tinción del TZ:* Para algunas especies, la viabilidad se evalúa por la presencia/ausencia de tinción rojo-rosa. Sin embargo, es importante entender cuáles son las partes vitales de la semilla que deben ser coloreadas (por ejemplo, la punta de la radícula y el ápice del brote), y con qué intensidad (rojo, rosa, rosa claro) es necesario para que una semilla se considere viable. Esto requerirá más pruebas y evaluaciones para describir los patrones de tinción específicos de cada especie y la corroboración con otras pruebas, incluida la correlación con las pruebas de germinación si el patrón de tinción no se considera concluyente.

## **Germinabilidad**

La germinación es la máxima expresión de la viabilidad de una semilla, siendo este un aspecto que implica la conversión de una semilla viable y dormante, a una semilla germinada y, en última instancia, a una planta. La germinación opera a través de un filtro de dormancia que restringe la germinación al período más favorable para el establecimiento de las plántulas.

Por lo tanto, la germinación es un paso de suma importancia en los protocolos de análisis de semillas, ya que define el resultado de un programa de siembra o restauración y el número de plantas esperado. Las pruebas de germinación para la mayoría de las especies nativas requieren herramientas sencillas: un sustrato de germinación, una temperatura y una humedad adecuadas, además de saber cómo manejar y quebrar la dormancia (si está presente). Siendo así, cuando otras pruebas de viabilidad están fuera del alcance del operador (tetrazolio, rayos X), una prueba de germinación es una alternativa útil, especialmente para las semillas sin o con baja dormancia (véase la sección *Pruebas de viabilidad alternativas determinadas a partir de la germinabilidad*). Sin embargo, si no se conocen bien los tratamientos para quebrar la dormancia, la germinación puede subestimar significativamente la cantidad

de semillas viables. Consulte la Figura 2 que ilustra el marco lógico para cada uno de los pasos clave que se enumeran a continuación.

**Unidad de semilla germinable.** La USG se refiere al número de semillas capaces de producir un resultado de germinación (protrusión de la radícula hasta el desarrollo completo de la plántula). Para determinar la USG, semillas de la USP se someten a una prueba de germinación adecuada en la que se conocen las condiciones ambientales (temperatura, requerimientos de luz) y el momento previsto para la germinación. El número de germinantes resultante de la prueba constituye la base de la USG.

### **Directriz 13**

- 13.1 Se debe asegurar que las semillas para las pruebas de germinación proceden de la USP y, por lo tanto, están limpias, libres de materiales inertes y, en la medida de lo posible, reflejan semillas intactas y turgentes que pueden germinar.
- 13.2 Utilizando un contador de semillas automatizado, un peso o un recuento manual, separar cuatro réplicas de 25 semillas (procedentes de la USP) en platos o contenedores de germinación individuales que hayan sido preparados con agar agua o con papeles de germinación, arena, vermiculita u otro sustrato humedecido. El medio de germinación se mantiene húmedo mientras dura la prueba de germinación. Para limitar la desecación del medio de germinación y la contaminación fúngica y bacteriana, los platos o contenedores deben estar sellados.
- 13.3 Incubar en condiciones de oscuridad (o de luz si esta se requiere para la germinación) a una temperatura que sea óptima para la germinación de las semillas. Esta información se obtiene de la literatura o de las bases de datos en línea. Si no se dispone de ella, se requiere un experimento preliminar de germinación a diferentes temperaturas y diferentes condiciones de iluminación (luz vs. oscuridad) para determinar las condiciones óptimas de germinación.
- 13.4 La germinación debe registrarse cuando una radícula visible haya emergido y alcance una longitud de 1 a 2 mm, dependiendo del tamaño de la semilla.

La germinación suele registrarse cuando se detecta una radícula que sobresale de la semilla; sin embargo, esto no proporciona información sobre el vigor de la plántula. Para la mayoría de las especies esto no representa un problema, pero aquellos casos en los que son comunes las plántulas anormales, la prueba debería continuar hasta que se puedan distinguir las plántulas normales de las anormales. Esta prueba proporcionaría una estimación más fiable de la emergencia esperada de las semillas y del establecimiento de las plántulas en el campo.

*Nota:* Si se examina una unidad que contiene múltiples semillas o algún aglomerado de semillas (véase el recubrimiento de las semillas), se considera que la germinación es satisfactoria cuando emerge al menos una radícula de la unidad, independientemente del número de semillas reales que contenga la unidad. La emergencia de múltiples radículas sigue registrándose como un único evento de germinación.

**Unidades de semillas dormantes.** A diferencia de las especies agrícolas en donde se ha eliminado o reducido la dormancia, las semillas de las especies silvestres poseerán sistemas de dormancia desde simples a complejos. Determinar si una semilla presenta algún estado de dormancia puede calcularse a partir del porcentaje de USV (véase la sección anterior) y restando el PSG. Todos los valores son porcentajes en peso. Por ejemplo, PSD es el porcentaje en peso de las semillas que están en estado de dormancia sobre todo el peso de USP.

Unidad de Semillas Dormantes (USD%)

= Unidad de Semillas Viabiles (USV%)

– Unidad de Semillas Germinables (USG%)

Una vez que se ha determinado que la semilla presenta dormancia, la clase de dormancia (y, por tanto, el tratamiento adecuado para quebrarla) puede determinarse a partir de la bibliografía o mediante un experimento. Véase Baskin & Baskin (2014) para más detalles sobre cómo identificar el estado de dormancia de las semillas. En el Recuadro 1 se describen las clases de dormancia y los métodos para quebrarla.

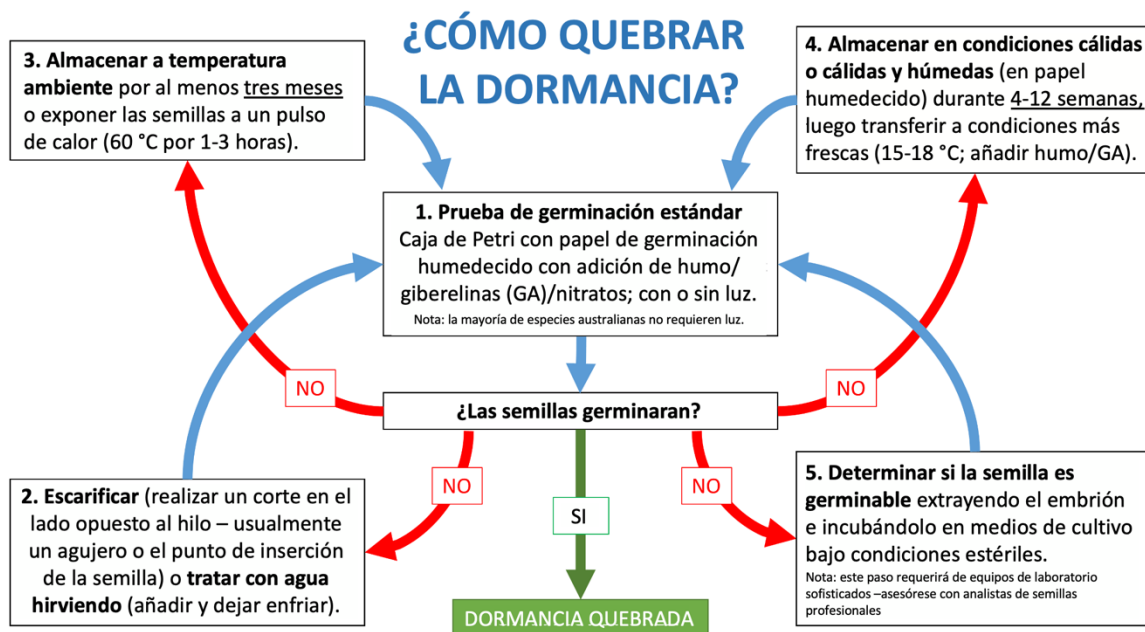
### Recuadro 1. La dormancia de las semillas.

La dormancia de las semillas es el mecanismo clave por el cual las semillas persisten en el tiempo y el espacio de tal manera que la germinación sólo se produce cuando las condiciones ambientales son favorables para la germinación y el establecimiento de las plántulas. Milenios de selección humana han eliminado la dormancia en las semillas de especies agrícolas, forestales y hortícolas, con el resultado de que las normas de análisis de semillas asociadas a dichas especies pueden tener poca relevancia para una semilla nativa que puede tener estados de dormancia complejos. Por el contrario, las especies silvestres pueden dividirse a grandes rasgos en especies sin dormancia o con una de las siguientes cinco clases de dormancia, según la definición de Baskin y Baskin (2014): (1) *Física*: las semillas poseen una cubierta impermeable que impide que la humedad llegue al endospermo y al embrión. (2) *Fisiológica*: el equilibrio de las hormonas de la semilla es tal que impide la germinación, lo que a veces se denomina restricción de la "fuerza" del embrión para crecer fuera de la semilla. (3) *Morfológica*: el embrión está poco desarrollado en el momento de la dispersión de la semilla y necesita tiempo para crecer dentro de la semilla, normalmente en respuesta a periodos de contacto con la humedad. (4) *Morfofisiológica*: el embrión está poco desarrollado y un desequilibrio hormonal inhibe el desarrollo y la germinación. (5) *Combinada*: las semillas poseen una barrera física para la absorción de agua y tienen dormancia fisiológica.

La dormancia representa una limitación clave en el uso de semillas en programas de restauración (Merritt & Dixon 2011). Sin embargo, a la hora de desplegar semillas dormantes en un lugar, es fundamental comprender que la pérdida de dormancia y la estimulación de la germinación pueden representar diferentes componentes a medida que una semilla pasa de un estado de quiescencia a un estado capaz de aceptar un estimulante de la germinación como la luz, el humo, el nitrato y las temperaturas fluctuantes (Long et al. 2015). Por ejemplo, en la germinación estimulada por el fuego, las semillas pueden permanecer en el banco de semillas del suelo, entrando y saliendo de la dormancia a la espera de una señal de humo que puede surgir del paso de un incendio. En el caso de estas especies, la siembra al voleo o su uso en viveros sin controlar las dos fases de dormancia y estimulación de la germinación dará lugar a semillas en las que el estimulante de la germinación aplicado no coincide con la ventana de liberación de la latencia (Fig. 7).

*Nota:* Algunas especies silvestres, como las Ericaceae de frutos drupáceos y muchas Rutaceae australianas, Restionaceae y Cyperaceae de tierras secas, tienen un estado de dormancia profundamente intratable en el que los bloqueos de la germinación no se resuelven fácilmente en condiciones de laboratorio. Estas especies sólo responden a las señales de germinación, como la aplicación de humo después de un período de envejecimiento en el suelo que puede ser de 6 meses a 2 años, o, para algunas especies, el tratamiento con un pulso de calor seco.





**Figura 7.** Cuando la germinabilidad de una especie es desconocida y problemática, la ilustración anterior proporciona el marco lógico para decidir qué tratamiento de semillas y procedimientos son necesarios para quebrar la dormancia. Algunas especies con dormancia intratable profunda pueden no tener procedimientos de liberación de la dormancia conocidos.

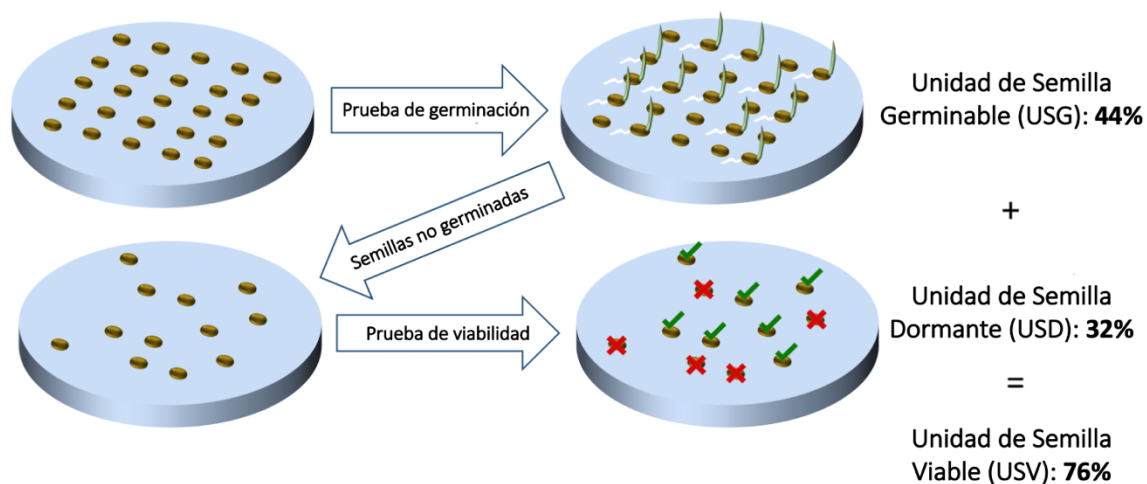
### Pruebas de viabilidad alternativas determinadas a partir de la germinabilidad

En las secciones anteriores, las pruebas de calidad de la semilla para la viabilidad y la germinabilidad son presentadas secuencialmente, con la recomendación de realizar las pruebas en ese mismo orden. Sin embargo, existen dos métodos alternativos para determinar la viabilidad de las semillas sin realizar una prueba de viabilidad completa, que pueden realizarse mediante una prueba de germinabilidad.

**Prueba de viabilidad al finalizar la prueba de germinación.** El primer método puede utilizarse si se desconoce o no se dispone de un mecanismo de quiebre de la dormancia (Fig. 8).

### Directriz 14

- 14.1 Realizar la prueba de germinabilidad de las USPs tal y como se describe en la sección Unidad de Semilla Germinable. Esta prueba arrojará un porcentaje de Unidad de Semilla Germinable.



**Figura 8.** Viabilidad determinada por la prueba de germinabilidad cuando no se realizan tratamientos de quiebra de dormancia o dichos tratamientos no se conocen. Las semillas con una radícula sobresaliente de 2 mm y, en la imagen, un cotiledón, se consideran germinadas. En la placa de Petri (abajo a la derecha), las semillas con una marca verde son viables y las que tienen una cruz roja son no viables mediante la prueba de viabilidad correspondiente.

14.2 Al final del experimento de germinación, las semillas no germinadas que estén libres de contaminación bacteriana o fúngica y que parezcan estar llenas y sanas deberán examinarse para determinar si estas semillas son dormantes o no viables utilizando uno de los métodos descritos en la sección de Viabilidad (prueba de corte, rayos X o tetrazolio). Esta prueba arrojará un porcentaje de USD.

14.3 La unidad de semilla viable (USV) se calcula sumando la USG a la USD.

***Prueba de germinación aplicando un tratamiento para la quiebra de dormancia.***

El segundo método puede aplicarse cuando se comprendan plenamente los requerimientos ambientales para la germinación y tratamientos para la quiebra de la dormancia para ser aplicados a la semilla (Fig. 9).

**Directriz 15**

15.1 Los estimulantes de la germinación (agua ahumada) o los tratamientos y compuestos para la quiebra de dormancia (ácido giberélico, nitrato, karrikinolida) en concentraciones adecuadas para la especie, se incorporan al agar o al agua utilizada para humedecer el sustrato de germinación.

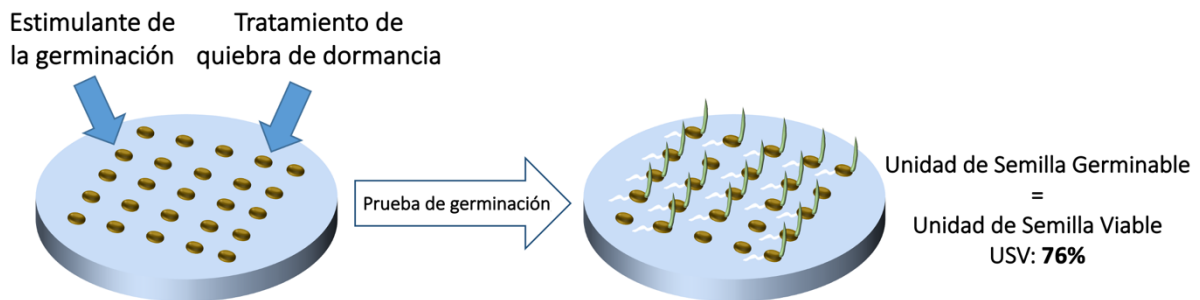
Alternativamente, las semillas pueden empaparse en una dilución adecuada para la estimulación de la germinación o quiebra de dormancia, antes de la incubación en el contenedor para la germinación que contiene el sustrato de germinación elegido.

15.2 Cuando se requiera, hay que asegurarse que las semillas hayan sido acondicionadas adecuadamente (mediante un tratamiento de post-maduración o estratificación) o tratadas para quebrar la dormancia física (es decir, escarificadas o tratadas por ebullición).

15.3 La prueba de germinabilidad proporciona el porcentaje de unidades de semillas viables.

15.4 En caso de ser necesario, puede determinarse un porcentaje de unidades de semillas viables (USV) restando el resultado de esta prueba del resultado de la prueba de germinabilidad realizada sin quiebra de la dormancia.

*Nota:* Cuando no se disponga de instalaciones de laboratorio, es posible realizar una prueba de corte en las semillas no germinadas que queden después de una prueba de germinabilidad para estimar la dormancia y la viabilidad de las semillas.



**Figura 9.** Viabilidad determinada por la prueba de germinabilidad en la que se aplicaron estimulantes de la germinación y tratamientos para quebrar la dormancia. Las semillas con una radícula sobresaliente de 2 mm se consideran germinadas. Si se elimina por completo la dormancia, el resultado de la prueba de germinabilidad, USG, también proporcionaría el resultado de la unidad de semilla viable USV.

## Semilla viva pura

El resultado de la prueba de viabilidad, expresado como unidades de semilla viable (USV), combinado con el resultado de la prueba de pureza (USP), permite calcular el porcentaje en peso de SPV mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Semilla Pura Viva (SPV\%)} \\ = \frac{\text{Unidad de Semilla Viable (USV\%)} \times \text{Unidad de Semilla Pura (USP\%)}}{100} \end{aligned}$$

## Directriz 16

- 16.1 El porcentaje de SPV es el requisito mínimo de las pruebas de calidad y debe indicarse en la etiqueta del lote de semillas. El valor de SPV es una estimación del porcentaje de semilla viva en el peso de todo el lote de semillas. Por ejemplo, un 72% de SPV para 20 kg de semillas significa que 14,4 kg de semillas se consideran viables. Otra forma de presentar el SPV es expresando el número estimado de SPV por unidad de peso. Ambos valores son especialmente útiles para los usuarios de semillas a la hora de planificar las operaciones de siembra (Shaw et al. 2020).

## Semillas Puras Germinables y Semillas Puras Dormantes

Una vez que se ha llevado a cabo una prueba de germinabilidad, el resultado de la germinación (USG) y la dormancia (USD) se relaciona con el USP para obtener el SPG y el SPD como porcentaje del peso total del lote de semillas:

$$\begin{aligned} \text{Semilla Pura Germinable (SPG\%)} \\ = \frac{\text{Unidad de Semilla Germinable (USG\%)} \times \text{Unidad de Semilla Pura (USP\%)}}{100} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Semilla Pura Dormante (SPD\%)} \\ = \frac{\text{Unidad de Semilla Dormante (USD\%)} \times \text{Unidad de Semilla Pura (USP\%)}}{100} \end{aligned}$$

El valor de SPV, SPG y SPD debe entonces reportarse en el formato (Fig. 6).

## ACONDICIONAMIENTO DE SEMILLAS: QUIEBRA DE DORMANCIA, IMPRIMACIÓN Y RECUBRIMIENTO

Los procesos y enfoques clave utilizados en el desarrollo y la aplicación de tecnologías de acondicionamiento de las semillas se describen en (Pedrini, Balestrazzi, et al. 2020). Los acondicionamientos pueden ir desde la simple liberación programada de la dormancia (escarificación, ácido giberélico, etc.) hasta la imprimación y el recubrimiento de las semillas. Actualmente, se están desarrollando otras tecnologías emergentes que incluyen nuevos compuestos extruidos con semillas incrustadas o aglomeraciones de semillas para aplicaciones particulares de restauración (Fig. 10).

**Acondicionamiento** Fecha del tratamiento: mes/año Realizado por: nombre de la persona/empresa

<input type="checkbox"/> <b>Quebra de dormancia</b> <input type="checkbox"/> Escarificación <input type="checkbox"/> Estratificación <input type="checkbox"/> Química  Notas: _____	<input type="checkbox"/> <b>Imprimación</b> <input type="checkbox"/> Hidro <input type="checkbox"/> Osmo <input type="checkbox"/> Matriz solida Notas: _____ <input type="checkbox"/> Sustancias protectoras: <u>fungicidas,</u> <u>pesticidas...</u> <input type="checkbox"/> Promotores: <u>hormonas, químicos...</u> _____	<input type="checkbox"/> <b>Revestimiento</b> <input type="checkbox"/> Película <input type="checkbox"/> Incrustación <input type="checkbox"/> Pellet <input type="checkbox"/> Otra Notas: _____ <input type="checkbox"/> Sustancias protectoras: <u>fungicidas,</u> <u>oesticidas...</u> <input type="checkbox"/> Promotores: <u>hormonas, químicos...</u> _____
---	---	---

**Figura 10.** Sección del formato para informar sobre los tratamientos de acondicionamiento de las semillas. Las casillas se rellenan según sea necesario. Si se utilizan compuestos como promotores/protectores químicos (plaguicidas) u hormonas, se notifican en las casillas de línea discontinua de cada una de las secciones pertinentes. Cuando se apliquen varios tratamientos a un lote de semillas, deberán indicarse.

Aunque el acondicionamiento de semillas está en sus inicios en la industria de las semillas nativas, el rápido aumento de la demanda mundial de semillas para cumplir con los objetivos de restauración está impulsando el interés por mejorar la eficiencia en el despliegue de las semillas en los programas de restauración. Las tecnologías de acondicionamientos de las semillas tienen el potencial de alcanzar muchos de estos objetivos de eficiencia. Las siguientes orientaciones, extraídas en parte de las experiencias de las industrias de acondicionamiento de semillas agrícolas

y hortícolas, proporcionan una base sólida para garantizar que los compradores de semillas puedan confiar en que las semillas acondicionadas proporcionarán mejoras en la restauración.

## **Directriz 17**

- 17.1 Si los proveedores de semillas se encargan de acondicionarlas, se deberá indicar el tratamiento aplicado (quebra de dormancia, estimulación de la germinación, imprimación, recubrimiento). El tipo de tratamiento utilizado deberá ser apropiado para la especie y el lugar.
- 17.2 El acondicionamiento de las semillas deberá notificarse si todo el lote de semillas es tratado. Si este se realiza sólo en una muestra para evaluar la viabilidad, no deberá indicarse en esta sección, sino que se informará en las notas de la sección de viabilidad/germinabilidad.
- 17.3 Deberá reportarse la fecha del tratamiento de las semillas y, si se conoce, la vida útil de las semillas acondicionadas.
- 17.4 Si se aplica una combinación de tratamientos, deberán indicarse todos ellos.
- 17.5 Deben especificarse los estimuladores de la germinación o crecimiento, los agentes antipredación, insecticidas y antimicrobianos, y los agentes biológicos (bacterias y hongos benéficos) incorporados en la semilla o en la cubierta de estas. Así mismo, debe informarse de la concentración del compuesto.
- 17.6 Cuando se incorporen productos químicos biocidas a la semilla, los proveedores deben cumplir con las normas nacionales sobre plaguicidas en su uso y proporcionar el etiquetado legal y las instrucciones de manipulación requeridas.

### **Quebra de dormancia**

Si se conoce la dormancia de la semilla, se puede aplicar un tratamiento al lote de semillas para quebrar dicha dormancia, para así garantizar que la semilla germine fácilmente. Hay muchos enfoques diferentes dependiendo del tipo de dormancia

(Kildisheva et al. 2020). Si el lote de semillas ha sido tratado para quebrar la dormancia y estimular la germinación, esto deberá indicarse en el formato.

### **Directriz 18**

- 18.1 Para semillas sometidas a un periodo de post-maduración o estratificación, se debe indicar la duración del tratamiento y las condiciones de temperatura y humedad aplicadas.
- 18.2 En el caso de la escarificación, debe indicarse el método utilizado, como ácido, calor seco, agua hirviendo, abrasión, percusión, o escarificación neumática.
- 18.3 Si se han utilizado enmiendas químicas durante el proceso, deberá especificarse también el nombre del compuesto, la concentración a la que se ha utilizado y los métodos de suministro empleados (por ejemplo, imbibición).

### **Imprimación de semillas**

La imprimación consiste en una hidratación controlada de las semillas que se detiene antes del inicio de la germinación irreversible y donde la semilla, tras un proceso de secado, conserva su viabilidad. En otras palabras, la germinación se lleva a una fase en la que es reversible. Se sabe que la imprimación de semillas mejora la velocidad y la sincronización de la germinación y el vigor de las plántulas. El proceso también puede utilizarse para suministrar compuestos potencialmente beneficiosos, como promotores de la germinación (por ejemplo, humo y compuestos de humo) y hormonas ( $GA_3$ , ácido salicílico). Una desventaja potencial de la imprimación es la reducción de la vida útil de las semillas después del tratamiento, en comparación con las semillas no tratadas.

### **Directriz 19**

- 19.1 Especificar el tipo de imprimación de semillas utilizado.
- 19.2 Se debe reportar la duración del tratamiento, las condiciones (temperatura, potencial hídrico) y el equipo utilizado para la imprimación.

- 19.3 Si se suministran promotores a las semillas mediante la imprimación, se debe informar el tipo de promotor utilizado (químico u hormonal) y su concentración.

### **Recubrimiento de semillas**

El recubrimiento de semillas es la práctica de aplicar material externo a las semillas para suministrar ingredientes activos beneficiosos (protectores o promotores de la germinación) y regularizar la forma y el tamaño de las semillas para mejorar su manejo y fluidez. Por lo general, el recubrimiento de semillas se realiza en semillas individuales; sin embargo, en algunas circunstancias se pueden producir pellets de semillas múltiples (aglomerados). En este caso, los pellets deben tratarse durante la evaluación de la calidad de las semillas como unidades de semillas individuales, sin embargo, se debe informar del número medio de semillas por aglomerado.

### **Directriz 20**

- 20.1 Indicar el tipo de recubrimiento aplicado.
- 20.2 Los materiales de recubrimiento (aglutinante y relleno) y el equipo de recubrimiento utilizado se deben indicar en las notas.
- 20.3 Si se utilizan promotores y protectores (fungicidas, plaguicidas), se deben informar e indicar su concentración.
- 20.4 En el caso de las semillas recubiertas, cuando haya muchas semillas en una unidad (aglomerados), se debe indicar el número promedio de semillas en cada unidad.


### **¿CÓMO SE PUEDEN UTILIZAR LOS ESTÁNDARES PARA SEMILLAS NATIVAS?**

Los Estándares proporcionan una guía práctica, paso a paso, para garantizar que cada etapa de la cadena de suministro de semillas nativas sea sólida y basada en evidencias. El formato proporcionado (Fig. 2), en caso de ser adoptado, dará como resultado el desarrollo de un sistema sólido de gestión del suministro de semillas y, en combinación con las bases de datos en línea, permitirá el seguimiento de los lotes de semillas a través de la cadena de suministro, garantizando al mismo tiempo que



se proporcione la información necesaria y relevante y se informe con precisión al usuario final.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, no sería razonable esperar que el formato se proporcione con cada bolsa del lote de semillas, especialmente si las semillas se venden en mezclas, como suele ser el caso. Se proporcionan etiquetas abreviadas que son relevantes para los sacos de semillas de una sola especie (Fig. 11) y para las mezclas (Fig. 12).


**Especie:** \_\_\_\_\_ . 

Número de lote: \_\_\_\_\_ .

Peso del lote: \_\_\_\_\_ . **Colectada de campo** Logo de la empresa,  
datos de contacto

**Fuente semillera** Fecha de colecta: mes/año. Localidad: estado/provincia, municipio, zona.

<b>Semilla Pura Viva SPV:</b> _____	<b>Acondicionamiento</b> Fecha del tratamiento: <u>mes/año.</u> Tratamiento: <u>quebra de dormancia, imprimación, revestimiento</u> . Químicos: <u>nombre y concentración</u> .
<b>Semilla Pura Germinable SPG:</b> _____	

**Especie:** \_\_\_\_\_ . 

Número de lote: \_\_\_\_\_ .

Peso del lote: \_\_\_\_\_ . **Cultivada** Logo de la empresa,  
datos de contacto

**Fuente semillera** Fecha de colecta: mes/año. Localidad: estado/provincia, municipio, zona.

**Cultivo** Localidad: estado/provincia, municipio, zona. Fecha de colecta: mes/año. Generación: 1-5.

<b>Semilla Pura Viva SPV:</b> _____	<b>Acondicionamiento</b> Fecha del tratamiento: <u>mes/año.</u> Tratamiento: <u>quebra de dormancia, imprimación, revestimiento</u> . Químicos: <u>nombre y concentración</u> .
<b>Semilla Pura Germinable SPG:</b> _____	

**Figura 11.** Ejemplos de etiquetas para la comercialización de semillas nativas. La etiqueta superior es para semillas recolectadas directamente en la naturaleza, y la inferior para semillas procedentes de zonas gestionadas de producción de semillas.

**NOMBRE DE LA MEZCLA:** ecosistema/comunidad de referencia



Peso total de la mezcla de semillas: 5 Kg.

Fecha de elaboración: mes/año

Logo de la empresa,  
datos de contacto

Nombre especie	Lote	Cultivada	Fuente semillera	Fecha de colecta/ cosecha	Acondicionamiento*	SPV%	% del peso total	Peso (g)
<i>Especie 1</i>	#	SI	<i>Estado/provincia, municipio, zona de recolección</i>	<i>mes/año</i>	SI	80	40	2,000
<i>Especie 2</i>	#	SI	<i>Estado/provincia, municipio, zona de recolección</i>	<i>mes/año</i>	NO	60	30	1,500
<i>Especie 3</i>	#	NO	<i>Estado/provincia, municipio, zona de recolección</i>	<i>mes/año</i>	NO	75	15	750
<i>Especie 4</i>	#	SI	<i>Estado/provincia, municipio, zona de recolección</i>	<i>mes/año</i>	NO	90	10	500
<i>Especie 5</i>	#	NO	<i>Estado/provincia, municipio, zona de recolección</i>	<i>mes/año</i>	SI	45	5	250

\*Si aplica, indicar el tipo de acondicionamiento y se hay presencia de químicos potencialmente nocivos

*Especie 1: Revestimiento – incrustación con un agente natural para disuadir predadores (chile en polvo)*

*Especie 5: Tratamiento con agua caliente para quebrar dormancia*

**Figura 12.** Ejemplo de etiqueta para una mezcla de semillas.

## CONCLUSIÓN

Estos Estándares representan una herramienta práctica para mejorar la fiabilidad de cada etapa de la cadena de suministro de semillas nativas. Su objetivo es lograr un equilibrio entre lo que son expectativas de calidad y garantías razonables para el usuario final de las semillas y lo que es prácticamente alcanzable y económicamente viable para los proveedores. Se espera que las 20 Directrices que forman la base de estos Estándares sean modificadas y que se proporcionen Directrices adicionales en futuras ediciones de los Estándares. Agradecemos los aportes sobre mejoras, enmiendas y adiciones a estas Directrices.

Este documento, así como las especificaciones y declaraciones de etiquetado que contiene, no son vinculantes, pero proporcionan una orientación clara y aplicable a biomas globales y a diferentes escenarios socioeconómicos. Está diseñado para

ser accesible y práctico para todos los que participan en la recolección, producción y uso de semillas nativas. Un beneficio práctico de los Estándares es la provisión de una etiqueta "lista para la industria" (el "formato") que proporciona un nivel de consistencia en lo que un usuario o comprador de semillas puede esperar de un determinado lote de semillas nativas.

Es importante que estas normas guíen a los usuarios a través de las calidades y características de las semillas nativas, que a menudo son muy diferentes de las normas desarrolladas para las especies agrícolas, forestales, hortícolas y de forraje. En muchos casos será necesaria una adaptación regional y local de las normas para reflejar las cualidades y características de las especies, la demanda local de semillas nativas, la estructura del mercado de semillas autóctonas y el entorno normativo. Si no existen reglamentos o directrices sobre semillas nativas, estos Estándares son un modelo ideal sobre el cual se puede desarrollar un marco normativo. Estos Estándares pueden utilizarse para informar a los reguladores sobre el carácter distintivo de las semillas nativas y fomentar la actualización de la normativa para garantizar el desarrollo sólido y sostenible de las semillas autóctonas en conjunto con las futuras industrias de restauración ecológica eficaces.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta publicación ha sido apoyada por el Gobierno australiano a través del Centro de Formación para la Transformación Industrial en la Restauración de Áreas de Minería del Consejo de Investigación Australiano (Número de Proyecto: ICI150100041). Las opiniones expresadas en este documento son las de los autores y no son necesariamente las del Gobierno australiano o del Consejo de Investigación de Australia. También nos gustaría agradecer el papel de los miembros de la junta de la Red Internacional de Restauración Basada en Semillas por el apoyo y la ayuda prestados durante la planificación y preparación del manuscrito, los numerosos revisores informales y los revisores anónimos cuyos comentarios y opiniones mejoraron en gran medida la calidad del manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- Association of Official Seed Analysts (2019) AOSA Rules for seed testing: principles and procedures. <https://www.analyzeseeds.com/product/aosa-rules-volume-1-principles-procedures-2019/>
- Baskin CC, Baskin JM (2014) Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Second Edi. Elsevier Inc., San Diego
- Bower AD, Clair JB St., Erickson V (2014) Generalized provisional seed zones for native plants. *Ecological Applications* 24:913–919
- Bureau of Land Management (2018) Seeds of success. Technical protocol for the collection, study, and conservation of seeds from native plant species. <https://www.blm.gov/sites/blm.gov/files/uploads/SOS%20Protocol%206.20.18.pdf>
- Cross AT, Pedrini S, Dixon KW (2020) Foreword: International Standards for Native Seeds in Ecological Restoration. *Restoration Ecology* 28:S225–S227
- ENSCONET (2009a) Curation protocols & recommendations. [https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/curation\\_protocol\\_english.pdf](https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/curation_protocol_english.pdf)
- ENSCONET (2009b) Seed collecting manual. [https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/collecting\\_protocol\\_english.pdf](https://www.luomus.fi/sites/default/files/files/collecting_protocol_english.pdf)
- Erickson VJ, Halford A (2020) Seed planning, sourcing, and procurement. *Restoration Ecology* 28:S219–S227
- FloraBank (1999) Native seed collection methods. [https://www.greeningaustralia.org.au/wp-content/uploads/2017/11/FLORABANK-GUIDELINES\\_collection-methods.pdf](https://www.greeningaustralia.org.au/wp-content/uploads/2017/11/FLORABANK-GUIDELINES_collection-methods.pdf)  
(Accessed 12 Mar 2020)
- Frischie S, Miller AL, Pedrini S, Kildisheva OA (2020) Ensuring seed quality in ecological restoration: native seed cleaning and testing. *Restoration Ecology* 28: S239-S248
- Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decler K, Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27:S1–S46
- Guzzomi AL, Erickson TE, Ling KY, Dixon KW, Merritt DJ (2016) Flash flaming effectively removes appendages and improves the seed coating potential of grass

- florets. *Restoration Ecology* 24:S98–S105
- International Seed Testing Association (2019) *International Rules for Seed Testing*.
- Kildisheva OA, Dixon KW, Silveira FAO, Chapman T, Di Sacco A, Mondoni A, Turner SR, Cross AT (2020) Dormancy and germination: making every seed count in restoration. *Restoration Ecology* 28:S256–S265
- Long RL, Gorecki MJ, Renton M, Scott JK, Colville L, Goggin DE, Commander LE, Westcott DA, Cherry H, Finch-Savage WE (2015) The ecophysiology of seed persistence: A mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews* 90:31–59
- Mainz AK, Wieden M (2019) Ten years of native seed certification in Germany – a summary. *Plant Biology* 21:383–388
- Marin M, Toorop P, Powell AA, Laverack G (2017) Tetrazolium staining predicts germination of commercial seed lots of European native species differing in seed quality. *Seed Science and Technology* 45:151–166
- Merritt DJ, Dixon KW (2011) Restoration Seed Banks—A Matter of Scale. *Science* 332:424–425
- Native Seed Quality Task Force (2011) *Native seed quality bulletin*.
- Nevill PG, Cross AT, Dixon KW (2018) Ethical seed sourcing is a key issue in meeting global restoration targets. *Current Biology* 28:R1378–R1379
- Pedrini S, Balestrazzi A, Madsen MD, Bhalsing K, Hardegree SP, Dixon KW, Kildisheva OA (2020) Seed enhancement: getting seeds restoration-ready. *Restoration Ecology* 28:S266–S275
- Pedrini S, Gibson-Roy P, Trivedi C, Gálvez-Ramírez C, Hardwick K, Shaw N, Frischie S, Laverack G, Dixon K (2020) Collection and production of native seeds for ecological restoration. *Restoration Ecology* 28:S228–S238
- Pedrini S, Lewandowski W, Stevens JC, Dixon KW (2019) Optimising seed processing techniques to improve germination and sowability of native grasses for ecological restoration Pritchard, H, editor. *Plant Biology* 21:415–424
- Ryan N, Laverack G, Powell A (2008) Establishing quality control in UK wildflower seed production. *Seed Testing International* 135:49–53
- Scotton M, Kirmer A, Krautzer B (2012) *Practical handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands*. Cleup, Padova, Italy
- Shaw N, Barak RS, Campbell RE, Kirmer A, Pedrini S, Dixon K, Frischie S (2020) Seed use in the field: delivering seeds for restoration success. *Restoration*

Ecology 28:S276–S285

Stevens J, Chivers I, Symons D, Dixon K (2015) Acid-digestion improves native grass seed handling and germination. *Seed Science and Technology* 43:313–317

Tischew S, Youtie B, Kirmer A, Shaw N (2011) Farming for restoration: Building bridges for native seeds. *Ecological Restoration* 29:219–222

De Vitis M, Abbandonato H, Dixon K, Laverack G, Bonomi C, Pedrini S (2017) The European Native Seed Industry: Characterization and Perspectives in Grassland Restoration. *Sustainability* 9:1682

De Vitis M, Hay FR, Dickie JB, Trivedi C, Choi J, Fiegenger R (2020) Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology* 28:S249–S255

Vogel KP (2002) The Challenge: High Quality Seed of Native Plants to Ensure Successful Establishment. *Seed Technology* 24:9–15