

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE SEMILLA DE SOJA DE USO
PROPIO ZAFRA 2018-2019**

por

Viviana PLAVAN ROHRER

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2024

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (MSc) Silvana González

Tribunal:

Ing. Agr. (Ph.D.) Rafael Vida

Ing. Agr. (MSc) Virginial Olivieri

Fecha:

8 de octubre de 2024

Estudiante:

Viviana Plavan Rohrer

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Ing. Agr. Silvana González por su apoyo incondicional y paciencia durante todo este tiempo. Agradezco también al equipo del laboratorio de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Estanzuela por su colaboración.

Un agradecimiento muy profundo a mis padres, hermana y Facundo por no dejarme bajar los brazos y confiar en mí.

Agradezco a mis amigos y familiares por su confianza constante.

Gracias, gracias, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	8
SUMMARY	9
1 INTRODUCCIÓN	10
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.1.1 Objetivo general	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
2 REVISIÓN BIBLOGRÁFICA	13
2.1 SEMILLA CERTIFICADA	13
2.2 SEMILLA COMERCIAL	14
2.3 SEMILLA DE USO PROPIO.....	14
2.4 CALIDAD DE LAS SEMILLAS	15
2.4.1 Atributos genéticos.....	16
2.4.2 Atributos físicos	16
2.4.3 Atributos fisiológicos	16
2.4.3.1 Germinación	17
2.4.3.2 Viabilidad	18
2.4.3.3 Vigor	19
2.4.4 Atributos sanitarios.....	20
2.5 FACTORES QUE REDUCEN LA CALIDAD DE LAS SEMILLAS.....	21
2.5.1 Contaminación genética	21
2.5.2 Ambiente de producción.....	22
2.5.3 Daño de insectos	24
2.5.4 Daño mecánico.....	24
2.5.5 Ambiente de almacenamiento.....	25
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 UBICACIÓN.....	27
3.2 MUESTREO	27
3.3 VARIABLES ESTUDIADAS.....	31

3.3.1 Obtención de la muestra de trabajo	31
3.3.2 Germinación.....	31
3.3.3 Vigor y Viabilidad por tetrazolio	35
3.3.4 Verificación de identidad varietal	39
3.3.5 Condiciones climáticas.....	40
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
4 RESULTADOS	43
4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS	43
4.2 GERMINACIÓN Y VIABILIDAD	47
4.3 VIGOR.....	49
4.4 DAÑOS	49
4.5 CONTAMINACIÓN VARIETAL	50
5 DISCUSIÓN.....	51
6 CONCLUSIÓN.....	53
7 BIBLIOGRAFIA	54

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Página
Tabla 1. <i>Número de razones sociales y toneladas de semilla sembrada por estrato</i>	28
Tabla 2. <i>Distribución de los productores (razones sociales) por estrato y región.....</i>	29
Tabla 3. <i>Número de silo/estrato analizado según estrato de productores por has y razones sociales</i>	30
Tabla 4. <i>Número de muestras analizadas por región y por estrato.....</i>	31
Tabla 5. <i>Ubicación de las estaciones meteorológicas y registros históricos en los períodos que abarcan.....</i>	41
Tabla 6. <i>Máximo, mínimo y coeficiente de variación de variables estudiados por región</i>	48
Tabla 7. <i>Semillas vigorosas (vigor) y no vigorosas (límite crítico) estimado mediante la prueba topográfica por tetrazolio</i>	49
Tabla 8. <i>Porcentaje de daños presentes en categorías límite crítico (semillas no vigorosas) y no viables.....</i>	50
Tabla 9. <i>Contaminación varietal mediante el método de observación para las diferentes regiones de estudio</i>	50

Figura No.	Página
Figura 1. <i>Regiones agroecológicas estudiadas</i>	27
Figura 2. <i>Crecimiento y desarrollo de plántulas cuando se utiliza para el análisis de germinación (sustrato papel)</i>	32
Figura 3. <i>Criterios de evaluación de plántulas Glycine max (soja) en el análisis de germinación (sustrato papel)</i>	33
Figura 4. <i>Criterios de evaluación de plántulas de Glycine max (soja) en el análisis de germinación.....</i>	34

Figura 5. <i>Semilla no germinada, muerta.....</i>	35
Figura 6. <i>Procedimiento de imbibición, disposición de las semillas en rollos de papel</i>	35
Figura 7. <i>Semillas sumergidas en la sal de tetrazolio completamente teñidas</i>	36
Figura 8. <i>Evaluación de la semilla de Glycine max (Soja).....</i>	36
Figura 9. <i>Semilla completamente turgente y teñida de color rosa</i>	37
Figura 10. <i>Semillas de vigor medio (categoría No. 2).....</i>	37
Figura 11. <i>Semillas de vigor bajo (categoría No. 3)</i>	38
Figura 12. <i>Semillas en límite crítico (categoría No. 4).....</i>	38
Figura 13. <i>Semillas no viables (categoría No. 5)</i>	39
Figura 14. <i>Expresión del color del hilio en la semilla de Glycine max (L.) Merrill</i>	40
Figura 15. <i>Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Litoral Norte</i>	43
Figura 16. <i>Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Litoral Sur.....</i>	44
Figura 17. <i>Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Centro</i>	45
Figura 18. <i>Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Sureste.....</i>	46
Figura 19. <i>Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Noreste.....</i>	47
Figura 20. <i>Porcentaje promedio de germinación y viabilidad para las diferentes regiones</i>	48

RESUMEN

La producción de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) en Uruguay es un sector importante de la economía, liderando el desarrollo agrícola en las últimas dos décadas. En Uruguay, se utiliza semilla nacional e importada, y se fomenta el uso de semilla certificada que garantice su calidad genética, física y fisiológica. Sin embargo, entre 2015 y 2022, el origen de la semilla cultivada por los productores fue en promedio, 44% semilla etiquetada (certificada y comercial), 40 % semilla que el productor produjo y reservó para uso propio y 16% semilla ilegal. A diferencia de la semilla etiquetada, la calidad de la semilla de uso propio es desconocida. El manejo de los semilleros y las condiciones del ambiente de producción desde llenado de grano hasta la cosecha son algunos de los factores que condicionan la obtención de semillas de calidad superior. El objetivo del estudio fue, evaluar la calidad de la semilla que reservaron los productores para uso propio en la zafra 2018-2019. Para ello, se establecieron cinco regiones agrícolas y climáticas diferentes y se relacionaron las condiciones del ambiente durante el llenado de grano a la cosecha con la calidad de la semilla en cada región. Se estudiaron la germinación, viabilidad, vigor, daños de chinche, daños debidos al ambiente de producción y mecánicos. Además, se evaluó la identidad varietal mediante dos métodos de estimación indirecta. El estudio reveló diferencias en la germinación entre regiones debidas principalmente a daños del ambiente de producción y de chinche que en algunas regiones fue mayor a 6%, límite establecido para semillas de calidad superior. Esto, mostró un manejo deficiente de los semilleros en el control de chinche y momento óptimo de cosecha. Los resultados del análisis de identidad varietal pueden mejorarse mediante el uso del método de réplicas, ya que este método detectó un mayor porcentaje de muestras contaminadas (7%) en comparación con la observación visual general de la muestra de 0.4%.

Palabras Clave: uso propio, calidad fisiológica, germinación, viabilidad

SUMMARY

The production of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) in Uruguay is an important sector of the economy, leading agricultural development over the past two decades. In Uruguay, both national and imported seeds are used, and the use of certified seeds is encouraged to ensure their genetic, physical, and physiological quality. However, between 2015 and 2022, the origin of the seeds cultivated by producers was, on average, 44% labeled seeds (certified and commercial), 40% seeds produced and reserved by the producer for their own use, and 16% illegal seeds. Unlike labeled seeds, the quality of self-produced seeds is unknown. The management of seedbeds and the conditions of the production environment from grain filling to harvest are some of the factors affecting the acquisition of superior-quality seeds. The objective of the study was to assess the quality of seeds reserved by producers for their own use during the 2018-2019 harvest. To achieve this, five different agricultural and climatic regions were established, and the environmental conditions during grain filling to harvest were related to seed quality in each region. Germination, viability, vigor, damage from bugs, environmental damage, and mechanical damage were studied. Additionally, varietal identity was assessed using two indirect estimation methods. The study revealed differences in germination between regions primarily due to environmental damage and bug damage, which in some regions exceeded 6%, the limit set for superior-quality seeds. This indicated poor management of seedbeds in controlling bugs and determining the optimal harvest time. The results of the varietal identity analysis could be improved by using the replica method, as this method detected a higher percentage of contaminated samples (7%) compared to the general visual observation of the sample, which was 0.4%.

Keywords: own use, physiological quality, germination, viability

1 INTRODUCCIÓN

La producción de soja en Uruguay representa un importante sector de la economía y ha liderado el desarrollo del agro uruguayo en las últimas dos décadas. Este crecimiento sin precedentes de la agricultura se debió al aumento rápido de la producción de este cultivo, en un contexto internacional favorable debido al incremento en el precio de los commodities (Figueredo et al., 2019).

El proceso de intensificación y expansión agrícola fue acompañado de la introducción de nuevos paquetes tecnológicos como la siembra directa, semillas genéticamente modificadas, herbicidas etc. Consecuentemente, en este proceso estuvieron involucrados numerosos actores de la sociedad, trabajadores rurales, productores, proveedores de insumos y de servicios, profesionales, técnicos, y empresas semilleras (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2018).

La soja es uno de los principales cultivos no solo en Uruguay, también en el mundo. Su alto valor comercial se debe a que posee 40 a 42% de proteína, 18-22% de aceite, 20-26% de carbohidratos y alta cantidad de Ca, P y vitaminas (Mahbub et al., 2016). Por esta razón tiene diversos usos, como fuente proteica para la producción animal, consumo humano (harina, leche de soja, tofu, aceite vegetal) y bioenergética, entre otros.

La semilla comercializada en Uruguay puede ser nacional o importada, de las clases comercial o certificada y de “uso propio”, que es la semilla cosechada por el productor, procesada y sembrada nuevamente por el propio productor.

La Asociación Civil Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales (URUPOV, 2022) mencionó que la evolución del volumen y el origen de semilla que se siembra en Uruguay fue cambiando con los años, en 2008/09 la semilla fue 40% importada, 40 % de uso propio y un 20% producción de nacional. Con el paso del tiempo y el crecimiento del área agrícola la producción de semilla nacional fue aumentado y las importaciones disminuyeron. Además, URUPOV (2022) dispone de la información del área de siembra mediante el uso de imágenes satelitales. Esta información indica que, en promedio durante los años 2015 a 2022 el origen de la semilla cultivada por los productores fue 44% semilla etiquetada (categorías comerciales como certificada), 40 % de uso propio dentro del sistema de valor tecnológico (SVT) y 16% semilla ilegal (no ingresa dentro del SVT).

Para la siembra de una variedad protegida es necesario estar sujeto al SVT, mediante este mecanismo el productor agropecuario se beneficia de las nuevas variedades de genética superior, a cambio del reconocimiento a la propiedad intelectual del obtentor. De esta manera el obtentor puede continuar invirtiendo y generando nuevas y mejores variedades (URUPOV, 2022).

En Uruguay se promueve la producción y uso de semilla certificada, garantía de identidad del material genético, debido a esto, es referencia a nivel internacional en lo que respecta al reconocimiento de la propiedad intelectual y el valor de la genética. La fortaleza institucional que tiene el país, la transparencia a nivel normativo y la oportunidad planteada por el marco regulatorio de bioseguridad, mediante el cual se evalúan solicitudes que involucran vegetales genéticamente modificados (GM), abrió puertas a potenciales negocios de exportación. La producción de semillas en Uruguay, y en particular las posibilidades de exportación en contra estación, constituye una alternativa de mayor agregado de valor a la creciente actividad agrícola (Rava & Souto, 2014). Sin embargo, queda planteado un gran desafío a nivel nacional ya que 16% de ilegalidad y subdeclaración de la semilla usada funciona como un desestimulo al desarrollo y lanzamiento de variedades y sus tecnologías asociadas (URUPOV, 2022).

Desde el aspecto productivo, uno de los factores que limita la producción de semillas de soja de calidad, además de los daños vinculados al estrés hídrico asociado a altas temperaturas durante el llenado de grano, son las abundantes precipitaciones previas y/o durante la cosecha. Esto provoca demoras en la cosecha, favorece el desarrollo de hongos y daño ambiental en las semillas, que afecta su calidad y genera inseguridad en el abastecimiento de semillas (Tortero, 2021).

Disponer de semillas de alta calidad es esencial para obtener una implantación adecuada como cimientito para la construcción del éxito del cultivo. En este sentido, Brasil y Argentina, a través de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) y la Asociación de Laboratorios Agropecuarios Privados (ALAP), respectivamente, realizaron evaluaciones exhaustivas de la calidad de la semilla de soja en varios ciclos de producción (França-Neto et al., 2017; Martínez et al., 2019).

Conocer la calidad de semillas de soja que se produce en el Uruguay cada año proporcionaría información valiosa para la investigación, el desarrollo de técnicas de cultivo y prácticas agrícolas más eficientes. Este aspecto adquiere mayor relevancia al

considerar la proporción de semillas destinadas al uso propio que se siembra en nuestro país, y para las cuales no se dispone de información de su calidad.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Conocer la calidad de las semillas de soja que reservaron los productores para uso propio en la zafra 2018-2019 en cinco regiones de Uruguay, con el fin de identificar factores que lo afectan e identificar acciones estratégicas que contribuyan a mitigar los problemas detectados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar la calidad fisiológica de las semillas de soja reservadas para uso propio mediante la germinación, viabilidad y vigor.
- Conocer la asociación entre la temperatura media y la precipitación acumulada en los períodos de llenado de grano y cosecha con la calidad fisiológica de las semillas de soja reservadas para uso propio en diferentes regiones de producción del país.
- Estimar la calidad genética de las semillas de soja reservadas para uso propio mediante el método de réplicas y observación visual para determinación de la pureza varietal.
- Estudiar la relación entre los dos métodos de estimación de la pureza varietal de semillas de soja.

2 REVISIÓN BIBLOGRÁFICA

La semilla comercializada en Uruguay puede ser importada o nacional, esta última de las clases certificada, comercial y de uso propio (Rava & Souto, 2014). La diferencia entre la clase certificada y comercial es la intervención del Instituto Nacional de Semillas (INASE) en el control de los procesos productivos. En el caso de la semilla certificada INASE interviene de forma directa o indirecta en el control de cada una de las etapas de producción. Esto no sucede en la producción de semilla comercial, cuya responsabilidad está a cargo de los técnicos de la empresa semillero, quienes deben asegurar el cumplimiento de los estándares de análisis de laboratorio.

La producción de semilla de uso propio no tiene control del INASE, su calidad es responsabilidad del productor. Por las diferencias que se han mencionado, la semilla certificada tiene más valor desde el punto de vista de la calidad genética que la semilla comercial y la de uso propio (Fornos & Sanguinetti, 2009).

2.1 SEMILLA CERTIFICADA

Según la Ley n° 13.664 (1968), semilla "certificada" es la progenie de semilla "certificada 1" o "básica" que se manipula en forma de mantener la identidad y la pureza genética específica. La certificación garantiza que se han alcanzado los estándares que aseguran la calidad genética de la semilla y las plantas (INASE, 2021). Además, le da al productor garantía de la calidad física y fisiológica de lo que ha comprado, consecuentemente minimiza los riesgos de producción, evitando sorpresas en chacra, como la aparición de malezas que antes no existían o ciclos de producción diferentes a los esperados (INASE, 2017).

La clase de semilla certificada está dividida en cuatro categorías: prebásica (PB), básica (B), certificada 1 (C1) y certificada 2 (C2). Estas cuatro categorías son generaciones sucesivas e inician en la PB, que es semilla que proviene del mantenedor de una variedad.

Las categorías que se comercializan son las C1 y C2, se obtienen bajo estrictas normas de producción, con controles de campo y laboratorio, bajo responsabilidad y supervisión de técnicos profesionales de empresas semilleros certificados por INASE y con el control de INASE que puede inspeccionar directamente un 30% del área que se desea certificar. Esto último, depende los resultados de auditorías que obtuvo la empresa

o el productor a lo largo de los años (V. De Maio, comunicación personal, 21 de setiembre, 2023).

2.2 SEMILLA COMERCIAL

La expresión "semilla comercial" significa cualquier semilla que se ofrezca a la venta de acuerdo con las exigencias de la ley sin haber cumplido o alcanzado los requerimientos establecidos para las semillas certificadas. La semilla comercial se divide en dos categorías: A y B, para ser comercializadas deben cumplir con el estándar específico de laboratorio, que es igual al de las categorías certificadas. Pero la categoría A, a diferencia de la B tiene requisitos adicionales como control generacional, (solamente puede provenir de semilla certificada) y requisitos de producción en el campo. Estos últimos son; la rotación (ciclos agrícolas sin cultivos de soja) y plantas fuera de tipo ambos son supervisados por técnicos de las empresas y no por el INASE. En cambio, la semilla comercial B, debe cumplir únicamente con los requisitos de análisis de laboratorio (Fornos & Sanguinetti, 2009).

Los Estándares Específicos de laboratorio indican cuáles son los valores mínimos y máximos de los parámetros de calidad que debe cumplir un lote de semillas para poder ser comercializado (INASE, 2008). Para soja los valores de los parámetros son iguales para todas las categorías: Semilla pura 98% (mínimo), materia inerte 2% (máximo), otras semillas 0,1% (máximo), número de semillas de otros cultivos “cero”, número de semillas de malezas con tolerancia 5 (máximo) y germinación de 80% (mínimo).

2.3 SEMILLA DE USO PROPIO

La semilla que siembra el productor la compra en el mercado formal o la obtiene de la reserva de semilla propia, producto de la cosecha en su establecimiento (INASE, 2017). A nivel nacional el número de productores que siembran soja se ha mantenido estable en los últimos años, con un promedio cercano a las 2.900 razones sociales. De este total, un 40% reservan semilla para su propia siembra y de estos un 90%, efectivamente siembran semilla de uso propio declarada en el marco del SVT (URUPOV, 2022).

Desde el momento en que el productor decide sembrar una variedad protegida, firma un contrato con el obtentor en donde reconoce la tecnología novedosa a la que accede, y por ende adhiere al pago de las regalías correspondientes. La semilla de uso propio está dentro del SVT, el valor tecnológico está dado por las características genéticas

de la variedad que le confieren un mayor rendimiento y estabilidad de producción, y como consecuencia el productor obtiene una mayor rentabilidad del cultivo.

Como menciona URUPOV (s.f.), es necesario realizar una visita al productor al finalizar la cosecha para obtener la información sobre los kilos de semilla reservados de cada variedad que luego utilizará como uso propio. En forma paralela los técnicos de Control de Comercio de INASE, además de supervisar el cumplimiento de las normativas que regulan la identificación y tenencia legal de los materiales de reserva de un productor, también verifican la identidad varietal de la semilla (que el cultivar declarado coincida con el cultivar de la semilla). Esto se hace mediante el muestreo de lotes que están siendo procesados en diversas plantas o establecimientos, seguidos de ensayos a campo que determinan si efectivamente la semilla es del cultivar declarado por el productor.

2.4 CALIDAD DE LAS SEMILLAS

Disponer de semillas de alta calidad es esencial para obtener una implantación adecuada, cimiento para la construcción del éxito del cultivo. Semillas sanas de buena germinación y vigor tienen mayor tolerancia a condiciones de estrés pos-siembra, presentan mayor velocidad de emergencia y de cobertura del suelo. Esto, les permite competir con las malezas, y tener una mayor eficiencia en el uso del agua (Dos Santos et al., 2005).

Salinas et al. (2008) definieron calidad como el grado o estándar de excelencia de los atributos que determinarán el comportamiento de la semilla cuando ésta es sembrada o almacenada.

La semilla de soja de calidad alta debe tener índices de germinación, vigor y sanidad altos y garantizar su pureza física y varietal (França-Neto et al., 2017). En este sentido Cuitiño et al. (2019) mencionaron que un lote de semillas de excelente calidad debe presentar una pureza mínima de 98% y germinación mayor a 90%.

La calidad de los lotes de semillas se evalúa en laboratorios habilitados por el INASE para el análisis de semillas de soja, donde se dispone de metodologías estandarizadas basadas en las reglas internacionales para el análisis de semillas International Seed Testing Association (ISTA), que generan resultados confiables. Esta información es útil para la toma de decisiones comerciales y/o de planificación del cultivo, cómo densidad y época de siembra o bien para evaluar su potencial de almacenamiento (García-López et al., 2016). En este sentido, en los últimos años, hubo

un notable progreso en el campo del análisis de semillas, un ejemplo de esto es la incorporación de la inteligencia artificial. Sin duda que su adopción en el mediano plazo permitirá automatizar y dotar de una mayor eficiencia al proceso de análisis de la germinación y vigor comparado con los métodos tradicionales (Simões, 2021).

2.4.1 Atributos genéticos

Farrás (2019) menciona que la calidad genética es gobernada por la constitución genética de las semillas. Con semillas genéticamente puras, se asegura la estabilidad del genotipo y su continuidad a través del tiempo, evitando la degeneración de los cultivares para así preservar sus características originales.

La pureza genética de una variedad garantiza la obtención de plantas que van a reproducir fielmente las características seleccionadas por el mejorador. Hace referencia a las características genéticas del cultivar que permiten un mejor desempeño para su establecimiento en el campo. Algunas de estas características son el potencial de almacenamiento, la capacidad de afrontar diferentes tipos de estrés, como plagas y enfermedades (bióticos), la resistencia a condiciones adversas de suelo y clima (abiótico) (S. Peske & A. Barros, comunicación personal). En este sentido, la semilla mejorada es tecnología con un valor estratégico ya que permite obtener mayor eficiencia productiva de los recursos: tierra, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, agua, mano de obra, etc.

2.4.2 Atributos físicos

La calidad física se ve afectada por la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable. Estos contaminantes pueden ser: materiales inertes, insectos y semillas de otras especies (Farrás, 2019). También comprende la integridad física de la semilla, (semillas quebradas), tamaño, peso de mil semillas y contenido de humedad (Trafane et al., 2017). La evaluación de estos componentes es a través del análisis de pureza, contenido de humedad y peso de 1000 semillas, entre otros.

2.4.3 Atributos fisiológicos

La calidad fisiológica es la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. Cuando la semilla alcanza la madurez fisiológica obtiene la máxima viabilidad; a partir de ese momento comienza a envejecer y perder vigor. Esta disminución de su calidad se acentúa si está en un ambiente desfavorable. Aunque su metabolismo es reducido, la semilla continúa respirando y consumiendo

energía para mantener sus funciones vitales. Por consiguiente, es crucial almacenarla en un ambiente seco y fresco (Farrás, 2019). Para determinar la calidad fisiológica de las semillas se requiere el uso de técnicas de laboratorio que permiten estimar los valores de germinación, viabilidad, y vigor.

2.4.3.1 Germinación

La germinación de una semilla es la emergencia y desarrollo de la plántula hasta una etapa donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica si es o no capaz de convertirse en una planta satisfactoria bajo condiciones favorables de campo (ISTA, 2022).

La germinación y la producción de plántulas normales deben ser rápidas y uniformes en todo el lote de semillas a fin de lograr una pronta cobertura del entresurco y evitar que las semillas permanezcan en el suelo durante largos períodos de tiempo (Gallo et al., 2011).

La capacidad de germinar de las semillas y producir plántulas normales está íntimamente relacionada con una buena condición de viabilidad, para lo cual deben tener sus estructuras esenciales sanas y vigorosas (Gallo et al., 2011).

Las plántulas se clasifican en normales o anormales según el estado de las estructuras esenciales constituidas por las raíces primarias y seminales, eje radícula-hipocótilo y cotiledones. Algunos de los criterios para considerar una plántula normal es que la mitad o más del tejido de los cotiledones sea funcional, la raíz primaria profunda y recta, el hipocótilo sano con hojas primarias verdes y expandidas.

Pueden aparecer plántulas con defectos leves, como la presencia de raíz primaria defectuosa, dañada. Para ser considerada una plántula normal, debe presentar tres raíces secundarias suficientemente desarrolladas, cada una de las cuales debe tener una longitud igual o mayor a la mitad de la longitud del hipocótilo (ISTA, 2022).

Las plántulas anormales son aquellas que presentan alguna de sus estructuras esenciales ausentes o con daño severo, desarrollo de plántulas desbalanceado, deformadas y/o desproporcionadas. También son consideradas plántulas anormales aquellas que presenten sus estructuras esenciales enfermas debido a una infección primaria que impide el desarrollo normal de las plántulas.

Es importante enfatizar que, las plántulas anormales no se desarrollan en una planta normal cuando crecen en suelo de buena calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz (Farrás, 2018). En el análisis de germinación es evidente el efecto de las condiciones ambientales y daños mecánicos en el desarrollo de las plántulas, y ellos son algunos de los factores responsables de incrementar el número de plantas anormales (Rossi & González, 2006).

2.4.3.2 Viabilidad

La viabilidad es la medida del porcentaje de semillas vivas con capacidad para germinar y producir plantas normales en un ambiente favorable para su germinación (Pérez-Bernal et al., 2013). Para evaluar y cuantificar la viabilidad se pueden realizar diferentes pruebas, entre las que destacan la germinación y el análisis topográfico por tetrazolio.

El análisis topográfico por tetrazolio es una prueba bioquímica que estima en forma rápida la viabilidad de la semilla y su potencial de germinación (ISTA, 2022). Esta prueba permite distinguir semillas viables de no viables, se basa en la actividad de las enzimas deshidrogenasas que catalizan las reacciones respiratorias en las mitocondrias. Estas enzimas, reducen la sal de tetrazolio (2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolio) en los tejidos vivos que da como resultado la formación de un complejo rojo. Cuando el tejido está en proceso de deterioro, se observa de color rojo intenso y si no es viable, la reducción de la sal no ocurre, y el tejido muerto se manifiesta de color blanco (sin teñir; França-Neto et al., 1998).

La pérdida de la viabilidad de la semilla es el resultado de procesos de deterioro que pueden ocurrir en pre y postcosecha. La semilla de soja se deteriora más rápidamente que la de otros cultivos (Priestley et al., 1985 como se cita en Bauer et al., 2003). Un factor que contribuye a esto es la presencia de una capa seminal muy permeable, a través de la cual la semilla absorbe fácilmente la humedad y la hace más susceptible al deterioro a campo (Tekrony et al., 1980 como se cita en Bauer et al., 2003).

La diferencia entre el valor de la viabilidad estimada mediante el test de tetrazolio y el valor de germinación no debe exceder el 5%, valores mayores pueden ocurrir en lotes de baja calidad, y/o debido a la presencia de microorganismos en las semillas (França-Neto & Krzyzanowski, 2018).

En Argentina y Uruguay, no hay un valor mínimo de viabilidad por tetrazolio oficial para la comercialización de los lotes de semillas de soja y de ninguna otra especie (V. Sosa, comunicación personal, 14 de febrero, 2024). Sin embargo, algunas empresas en Argentina consideran aceptable un lote de semillas de soja si presenta un valor mínimo de 90% de viabilidad estimada por la prueba de tetrazolio (López, 2020).

Los análisis de semillas más requeridos por los agricultores informan sobre la germinación y la viabilidad en laboratorio, sin embargo, el propósito último debería ser estimar la capacidad de implantación a campo.

2.4.3.3 Vigor

La capacidad de germinación de un lote de semillas de soja en un ambiente óptimo constituye el poder germinativo, mientras que la capacidad de germinar a pesar de enfrentar una condición no óptima para la germinación determina el nivel de vigor del lote (Salinas et al., 2008). Este, es un parámetro muy importante, siendo una de las causas que explican las diferencias entre la germinación en condiciones de laboratorio y la emergencia a campo, cuando las condiciones del campo son desfavorables para el proceso de implantación del cultivo (García-López et al., 2016).

El vigor de la semilla fue definido por Association of Official Seed Analysts (2009) como se cita en Elliot y Pérez (2017) como aquellas propiedades de la semilla que determinan su potencial para una emergencia rápida y uniforme, y el desarrollo de plántulas normales en diversas condiciones de campo. Es una característica que depende de las condiciones del ambiente y la nutrición de la planta madre durante la formación de la semilla; madurez de la semilla; tamaño, peso y densidad; daños mecánicos; deterioro, envejecimiento y contaminación por organismos patógenos (Rochón, 2021).

Las ventajas del uso de semillas vigorosas incluyen mayor velocidad de germinación y emergencia de plántulas, aún bajo condiciones de estrés. Aquellas plántulas que emergen más temprano tienen ventajas competitivas sobre las que emergen más tarde (Elliot & Pérez, 2017).

Las pruebas de vigor estiman directa o indirectamente el comportamiento potencial de los lotes de semillas en un amplio rango de ambientes lo cual provee una diferenciación más sensible entre lotes de semillas de aceptable germinación (Manfrini, 2004). Para las semillas de soja los métodos de vigor validados internacionalmente son:

análisis de conductividad, envejecimiento acelerado y prueba topográfica por tetrazolio (ISTA, 2022).

Mediante el análisis de conductividad las semillas se sumergen en agua y se evalúa la pérdida de electrolitos de los tejidos vegetales. Lotes con elevada lixiviación de electrolitos presentan elevada conductividad y se consideran menos vigorosos con respecto a los de que tienen menor pérdida de electrolitos (ISTA, 2022).

En el análisis de envejecimiento acelerado se exponen a las semillas durante periodos cortos de tiempo a altas temperaturas y elevada humedad relativa. Lotes de alto vigor (germinación post-envejecimiento > 80%) demuestran mayor resistencia a estas condiciones de estrés y envejecerán más lentamente que lotes de bajo vigor (germinación post-envejecimiento < 60%; Tekrony, 1995 como se cita en Salinas et al., 2001).

La prueba topográfica por tetrazolio ha sido de gran adopción en la industria semillera de Brasil (França-Neto et al., 1998). Su incorporación en las reglas ISTA para evaluar vigor de semillas de soja fue en el año 2017. En el proceso de validación participaron laboratorios de Argentina, Brasil y Uruguay (Gallo et al., 2016). La metodología consiste en clasificar las semillas en cinco categorías según el color y turgencia de los tejidos; ubicación, extensión y profundidad de las áreas dañadas. Las categorías 1,2 y 3 son semillas de alto, medio y bajo vigor, lo que Casini et al. (1997) como se cita en Rossi y González (2006) clasifican como bueno (70-75%), muy bueno (76-80%) y excelente (81-85%) y las categorías 4 y 5 denominadas como “otras tinciones” corresponden a semillas no vigorosas y no viables respectivamente. Adicionalmente, se registran el tipo de daños presentes en las semillas que determinaron los resultados de vigor, estos pueden ser de origen mecánico, ambiental, debidos a chinches y malformaciones de origen genético.

2.4.4 Atributos sanitarios

El atributo sanitario, representa la sanidad del lote de semillas, semillas infectadas por microorganismos pueden no ser viables o tener bajo vigor, por esta razón las semillas que se comercializan deben tener niveles de incidencia de patógenos aceptablemente bajos (Salinas et al., 2008; Trafane et al., 2017).

Algunos de los patógenos que afectan la calidad fisiológica de las semillas son hongos, estos se transmiten a través de ella por dos mecanismos, infección (internamente) y/o infestación (en la superficie de las semillas o en mezcla con ella). En caso de

infección, la tasa de transmisión generalmente es mayor ya que garantiza más eficientemente la supervivencia del patógeno y su posterior transferencia a los órganos aéreos (Lucca, 2004 como se cita en González, 2006).

La contaminación de las semillas soja con patógenos ocurre principalmente cuando se producen demoras en la cosecha y la semilla queda expuesta a condiciones de alta humedad, esto permite que los hongos tengan más tiempo para propagarse y colonizar las semillas.

Stewart et al. (2023) mencionaron que, en Uruguay no hay un informe exhaustivo sobre los patógenos presentes en las semillas de soja, algunos de los que se observan en los lotes de semillas con mayor frecuencia son: *Fusarium* spp., *Cercospora kikuchii* y *Cercospora sojina*, *Peronospora manshurica*, *Phomopsis* spp., *Colletotrichum* spp. y *Macrophomina phaseolina*. Varios de ellos pueden reducir la calidad de la semilla y otros permanecen durmientes hasta ser transportados nuevamente al campo para volver a reproducir la enfermedad.

Las semillas infectadas con *Fusarium* spp. y *Phomopsis* spp. fallan en la germinación causando muerte de plántulas en pre o post emergencia. Estos hongos colonizan las cubiertas, los cotiledones, radícula y plúmulas y si el daño es muy severo puede llegar a ocasionar la muerte de la semilla. Es importante mencionar que dichos hongos detienen su actividad cuando la semilla se almacena, ya que necesitan cerca del 95% de humedad para desarrollarse (González & Rossi, 2016).

Los síntomas de *Cercospora kikuchii* en las semillas son manchas de color púrpura y decoloración del tegumento. Su efecto sobre la germinación y el vigor depende de la severidad de la infección. La tasa de transmisión de *C. kikuchii* de semilla a plántulas de soja es baja de 2,2%, y varía según la variedad de soja y el nivel de infección en las semillas.

2.5 FACTORES QUE REDUCEN LA CALIDAD DE LAS SEMILLAS

2.5.1 Contaminación genética

La pureza genética se determina durante la etapa de producción a campo (INASE, 2021). Para garantizar el proceso de certificación de semillas se realizan inspecciones de campo, maquinaria y plantas de procesamiento. En el cultivo de soja las inspecciones de campo se hacen en dos momentos; durante la floración para evaluar el color de flor y

previo a la cosecha, para analizar el color de pubescencia, vaina e hilio. Se verifica si estas características coinciden con la descripción de la variedad.

Para llevar a cabo la verificación de la identidad varietal, INASE realiza actividades de postcontrol que requieren la siembra en campo de diversas especies agrícolas. Estos ensayos incluyen el establecimiento de parcelas de control de calidad, cuyo objetivo es verificar la pureza e identidad varietal, lo que permite monitorear la eficiencia en la multiplicación de lotes producidos bajo el esquema de certificación. El análisis se lleva a cabo a través de una comparación visual entre la parcela de control y una muestra de referencia de control y la muestra de referencia (Boschi et al., 2010).

Las instituciones INASE y URUPOV desde el año 2016, han desarrollado un panel de marcadores SNP (del inglés, *Single Nucleotide Polymorphism*) que permiten identificar las variedades que se producen y comercializan en el país (Menoni, 2020).

Desde la adopción de este panel, el 77% de las muestras extraídas para fiscalización revelaron que la variedad detectada no coincidía con la declarada. Este resultado provino de 131 muestras tomadas en respuesta a denuncias de infracciones. Por lo tanto, esta tecnología representa un aporte significativo al control de la semilla ilegal, ya que asegura la correcta identidad varietal de los materiales cultivados y comercializados en Uruguay (Menoni, 2020).

2.5.2 Ambiente de producción

Las principales causas de pérdida de calidad de la semilla de soja se deben a daños vinculados al ambiente de producción. La producción de semillas de alta calidad requiere de la ocurrencia de abundantes lluvias durante el desarrollo del cultivo y precipitaciones escasas en la etapa de madurez a cosecha. Esto tiene una correlación directa con el ciclo de los cultivares (Rossi & González, 2006).

Las necesidades de agua del cultivo de soja aumentan con su desarrollo y alcanzan un máximo de 7-8 mm/día durante la floración y llenado de grano. Para obtener un rendimiento adecuado, la necesidad de agua varía entre 450 a 800 mm/ciclo en el ciclo del cultivo. El estrés hídrico asociado a altas temperaturas durante el llenado de grano (R5 a R7) pueden originar semillas pequeñas, menos densas, inmaduras, verdes, arrugadas o deformadas (Rossi & González, 2006). Abundantes precipitaciones previas y/o durante la cosecha resultan en alta incidencia de hongos principalmente *Fusarium spp*, *Cercospora spp*, y *Phomopsis spp*. (Rossi & González, 2006).

Cuando ocurre la madurez fisiológica (MF), la semilla alcanza su máximo peso seco (50-55% de humedad) y su máxima germinación y vigor. Alrededor de 15 a 20 días después de la MF ocurre la madurez comercial (MC). Desde el punto de vista de la calidad de la semilla son muy importantes las condiciones del ambiente en el período comprendido entre MF y MC (Scandiani & Luque, 2009 como se cita en Sorhouet & Souza, 2019). Durante dicho período, los tejidos de las vainas y del tegumento se contraen y elongan como resultado de las fluctuaciones de humedad y temperatura que ocurren a lo largo del día (Arango et al., 2006 como se cita en Gallo et al., 2012). Por lo tanto, retrasos en la fecha de cosecha reducen el poder germinativo, incrementan la susceptibilidad al daño mecánico en la cosechadora y aumenta la predisposición de las semillas a sufrir infecciones debidas a patógenos (López, 2020).

Tortero et al. (2021) mencionaron que cuando las semillas llegan a la madurez deberían permanecer el menor tiempo posible en el campo, de lo contrario la incidencia de *Fusarium* spp. y *Cercospora kikuchii* se puede incrementar y reducir la germinación. También reportaron que cuando la cosecha se retrasó demasiado con respecto a la madurez, la aplicación de fungicidas foliares tuvo efecto limitado o nulo sobre el incremento de la germinación.

A nivel mundial se estima que las pérdidas de rendimiento ocasionadas por las enfermedades oscilan entre el 10 y el 15 %. En Argentina los daños causados, anualmente, por las enfermedades de soja alcanzan del 8 al 10% del total de la producción (Ivancovich, 2011). En Brasil anualmente se pierden entorno al 15 a 20% de la producción, mientras que para algunas enfermedades se registraron pérdidas totales (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2004). En Uruguay, Barrios et al. (2014) realizaron un relevamiento de chacras durante tres zafas 2013-2015 cuyos resultados mostraron alta proporción de chacras con presencia de enfermedades de fin de ciclo, pero con porcentajes de severidad bajos, a excepción de la roya asiática cuya severidad fue mayor a 10% en el 20% de las chacras analizadas. En la región y especialmente en Argentina, se recomienda el uso de fungicidas como estrategia de control de las enfermedades de fin de ciclo para reducir la pérdida de productividad del cultivo. En nuestro país, no se determinaron mermas significativas de rendimiento en los ensayos realizados con el uso de fungicida (Stewart et al., 2023).

2.5.3 Daño de insectos

La soja es atacada por una gran diversidad de especies de lagartas (*Plusia app.*) defoliadoras durante el período vegetativo, mientras que durante la etapa de fructificación se incrementan las poblaciones de chinches, insectos que representan una amenaza importante para el cultivo debido a su impacto en el rendimiento y calidad de la semilla (Aragón, 2017).

La intensidad del daño depende del estadio del ciclo del cultivo en que ocurre. Los ataques tempranos de chinche (R3-R4) provocan caída de vainas jóvenes, en R4-R5 pueden causar daños profundos en cotiledones e incluso muerte de semillas. Daños más tarde en el ciclo del cultivo (R6-R7) resultan en el manchado de granos, esto es debido a que los sitios donde ocurrieron las picaduras actúan como vía de entrada de hongos. Entonces, al daño físico provocado por los insectos se debe agregar el daño colateral, debido a la transmisión de enfermedades (Cagnolo, 2011).

La profundidad del daño y su ubicación determinan el efecto en la disminución de la viabilidad y el vigor de las semillas. Una sola picadura localizada en la zona cercana al eje hipocótilo-radicular puede producir la muerte del embrión. Sin embargo, cuando el daño afecta a los cotiledones puede reducir el vigor de las plántulas, aunque la germinación no disminuya (Rossi & González, 2006).

Según De Barros et al. (1988) como se cita en Massaro et al. (2022), mencionan que daños por chinche superiores al 7 %, generan limitaciones para la germinación y en el periodo de almacenamiento, pudiendo ocasionar disminución de calidad.

2.5.4 Daño mecánico

La semilla de soja pasa por varias etapas donde está involucrado el uso de maquinarias y la posibilidad de producir daños mecánicos que reducen su calidad. Las consecuencias de estos daños repercuten en la longevidad de la semilla, su germinación y vigor luego de su cosecha. Además, las semillas con daños mecánicos son más vulnerables al ataque de patógenos, que aprovechan estos daños como vías de ingreso a la semilla. Por tales motivos, los daños mecánicos pueden ocasionar pérdidas importantes de la calidad fisiológica y sanitaria las semillas que se obtuvo en el campo durante la producción del cultivo (Cossar, 2016).

Los daños pueden ser visibles (fracturas) e invisibles (abrasiones). Los daños visibles son fáciles de detectar mediante la observación de los tegumentos quebrados. En cambio, los daños invisibles o latentes, solamente se pueden observar mediante el Test de Tetrazolio (González & Rossi, 2016).

Las pérdidas que ocurren en la cosecha se pueden evitar con algunas medidas de manejo como; el remplazo de las piezas desgastadas de la cosechadora, regular la velocidad de avance durante la cosecha y conocer la humedad de la semilla. Este último punto es muy importante, humedades por debajo del 12% provocan daño mecánico inmediato y por encima del 15% el daño es latente y puede profundizarse durante el almacenamiento (EMBRAPA, 2004).

Alguno de los análisis para evaluar el daño mecánico son el porcentaje de grano partido y el test de hipoclorito. La proporción de grano partido no debe superar el 3%, mientras que, valores por encima del 8% ponen en peligro la calidad del lote de semillas. Cada daño mecánico que afecta la semilla por pequeño que sea afecta el vigor y el potencial de almacenamiento del lote (González & Rossi, 2016).

La buena gestión de esta operación da como resultado la producción de semillas de calidad, con bajas tasas de daño mecánico.

Según França-Neto (comunicación personal, 9-12 de junio, 2015), la calidad de la semilla se ve afectada por diversos factores, como los daños mecánicos, el deterioro por humedad y el daño por chinche. Según su investigación, un nivel de daño inferior al 6% no generaría problemas significativos, mientras que un nivel entre el 7% y el 10% implicaría una situación comprometida, y por encima del 10% se consideraría problemático.

2.5.5 Ambiente de almacenamiento

Es importante tener en cuenta que, algunos de los procesos mencionados también pueden suceder durante el almacenamiento de las semillas. Cuando los silos y bolsas están expuestos al sol, la temperatura de las semillas se incrementa, produciendo movimientos de masa de aire húmedo y caliente. Durante la noche, las paredes del silo se enfrían y se condensa el agua en algunas zonas generando “hot spot” (puntos calientes) ideales para el desarrollo de los hongos. Cuando la humedad de conservación de las semillas es inferior a 12%, los hongos se inactivan desde el punto de vista metabólico y se reduce el riesgo de formación de micotoxinas (Fernández, s.f.).

El primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas (Ferguson, 1995 como se cita en Salinas et al., 2001).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de análisis de semillas del INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay, desde octubre de 2019 hasta mayo 2020.

3.2 MUESTREO

Para la realización del muestreo primero se dividió el país en cinco regiones agroecológicas, Litoral Norte, Litoral Sur, Centro, Noreste y sureste. El criterio de agrupamiento fue unir zonas de producción en regiones con características agrícolas y climáticas similares.

Figura 1

Regiones agroecológicas estudiadas



Nota. Elaborado a partir de d-mapas (2024).

La estrategia de muestreo fue en dos etapas, la primera etapa fue la selección de productores por región dentro del país y por estratos (área de siembra), y la segunda etapa fue la selección de los silos (espacio de almacenamiento donde se ubica la semilla) para cada uno de los productores seleccionados.

Para realizar la obtención de las muestras se utilizó la base de datos de URUPOV (S. González, comunicación personal, 5 de marzo, 2019) que contiene información sobre

los productores que guardaron semilla para uso propio. El muestreo fue realizado por técnicos de URUPOV, habilitados por el INASE.

Para la determinación del tamaño de la muestra de semilla, se tuvo en cuenta el tamaño de la población a muestrear (n , grande), la distribución de las variables (binomial) su variabilidad (varianza máxima) y nivel de confianza (95%). En función de lo anterior, el resultado final fue de 385 muestras totales, no obstante, esto, la capacidad de análisis de los laboratorios que participaban de este estudio fue de 300 muestras. Se realizó un análisis detallado de la distribución de estas muestras en las diferentes regiones.

En la tabla 1 se muestra cómo se distribuyen la cantidad de productores (Número de razones sociales que reservaron semillas para uso propio (UP) por estrato) y la cantidad de semilla (ton.) que sembraron. Se observó que 44% de los productores que usan semilla propia están dentro del estrato inferior del área de producción < 102 has y un 1,5% son productores que manejan un área mayor a 2986 has, pero son los que abarcan más porcentaje de área sembrada de semilla uso propio.

Tabla 1

Número de razones sociales y toneladas de semilla sembrada por estrato

Estrato de productores por (has.)	Nro. Razones Sociales	Semilla Sembrada (Ton)	Porcentaje semilla/Total UP	Promedio Semilla UP/Prod	Nº silos/estrato	Nº silos/productor	Razones Sociales a muestrear
< 102 has	421	3714	14%	8,82	42	0,10	42
102 a 146	120	1091	4%	9,09	12	0,10	12
147 a 200	84	1080	4%	12,86	12	0,14	12
201 a 266	63	1086	4%	17,24	12	0,19	12
267 a 426	94	2437	9%	25,93	27	0,29	27
427 a 626	63	2439	9%	38,71	27	0,43	27
627 a 946	44	2479	9%	56,34	27	0,61	27
947 a 1594	29	2450	9%	84,48	27	0,93	27
1595 a 2986	17	2442	9%	143,65	27	1,59	17
>2.986 has	15	7924	29%	528,27	87	5,80	15
Total	950	27.142		28,57	300		218

Nota. Elaborado a partir de A. Gil (comunicación personal, 5 de marzo, 2019).

Con esta información se obtuvieron los porcentajes de semillas UP que se sembraron por estrato y utilizando ese porcentaje como criterio se distribuyó la muestra “ n ” entre los diferentes estratos, es así como para el estrato de “< 102 has” de las 300 muestras que se debían extraer le corresponderían 42 lotes. Si se divide ese tamaño de muestra por el número de productores, resulta en un valor de 0,10, lo que significa que 1 de cada 10 productores será seleccionado en ese estrato. En esa misma columna si lee en

las 3 últimas filas hay valores aproximadamente iguales o mayores a 1 por lo que en esos estratos en la primera etapa se realizaría un censo, lo que significa que todos los productores de esos estratos tendrán al menos 1 lote en la muestra y los 2 últimos estratos se sortean hasta 3 silos por productor. En conclusión, se visitarían 218 razones sociales (Tabla 1). En la Tabla 2 se muestra la distribución de la población de productores según el lugar de residencia en que se encuentran los mismos, presumiblemente también serían sus lugares de producción en la mayoría de los casos.

Tabla 2

Distribución de los productores (razones sociales) por estrato y región

Estrato	Población por Región					Total
	Lit. Norte	Lit. Sur	Centro	NorEste	SurEste	
< 102 has	69	305	34	9	4	421
102 a 146	17	85	12	1	5	120
147 a 200	14	53	16	0	1	84
201 a 266	14	40	6	1	2	63
267 a 426	23	57	12	2	0	94
427 a 626	8	38	13	2	2	63
627 a 946	16	19	7	0	2	44
947 a 1594	7	20	2	0	0	29
1595 a 2986	6	8	2	0	1	17
>2.986 has	2	10	2	0	1	15
Total	176	635	106	15	18	950

Nota. Elaborado a partir de A. Gil (comunicación personal, 5 de marzo, 2019).

Considerando que la distribución regional nos muestra una gran disparidad de número de productores entre las regiones con un claro predominio del Litoral Sur, si se aplica un muestreo aleatorio simple dentro de cada estrato probablemente las regiones tendrían un tamaño de muestra equivalente a ese número de productores. Esta situación no permitiría tener una estimación más o menos razonable sobre la calidad de las semillas de UP en las regiones menos numerosas por lo que es recomendable asignar diferente peso en la selección aleatoria de las muestras para las diferentes regiones.

Dada esta situación se decidió censar a los productores del Noreste y SurEste y distribuir las muestras restantes en igual número en cada una de las otras 3 regiones (Litoral Norte, Litoral Sur y Centro). Posteriormente uno de los laboratorios no pudo realizar los análisis previstos lo cual resultó en una reducción significativa del número final de muestras analizadas (138). Se realizó un análisis detallado de la distribución de

estas muestras en las diferentes regiones y estratos, así como el error de estimación de las variables de estudio.

En la tabla 3 se observa la propuesta de asignación de tamaños de muestra por estratos de tamaño de los productores y región de estos, modificando en más o menos el número de algunos de los productores para que fueran representativos el muestro por región, quedando 219 razones sociales a muestrear. Manteniendo el mismo criterio de muestreo se distribuyó la muestra “n” entre los diferentes estratos quedando finalmente, 138 muestras para realizar los análisis de calidad de semilla, ver tabla 4.

Al reducir el número de muestras a 138, el nuevo nivel de confianza aproximadamente fue del 76%. Esto implica que la precisión y confiabilidad de las estimaciones disminuyeron debido a la reducción del tamaño de la muestra.

Tabla 3

Número de silo/estrato analizado según estrato de productores por has y razones sociales

Estrato de productores por (has.)	N° Razones Sociales	N° silos/estrato	Razones Sociales a muestrear	N° silos/estrato analizados
< 102 has	421	41	40	13
102 a 146	120	12	12	6
147 a 200	84	12	13	7
201 a 266	63	12	12	6
267 a 426	94	27	26	10
427 a 626	63	27	28	13
627 a 946	44	27	27	12
947 a 1594	29	27	29	14
1595 a 2986	17	27	17	17
>2.986 has	15	88	15	40
Total	950	300	219	138

Tabla 4*Número de muestras analizadas por región y por estrato*

Muestras por Regiones						
Estrato	Lit. Norte	Lit. Sur	Centro	NorEste	SurEste	Total
< 102 has	2	3	3	1	4	13
102 a 146	1	2	0	1	2	6
147 a 200	2	2	2	0	1	7
201 a 266	2	1	1	1	1	6
267 a 426	1	7	2	0	0	10
427 a 626	1	5	4	1	2	13
627 a 946	3	4	4	0	1	12
947 a 1.594	6	6	2	0	0	14
1.595 a 2.986	6	8	2	0	1	17
>2.986 has	6	28	3	0	3	40
Total	30	66	23	4	15	138

Las muestras fueron colectadas entre los meses de julio a setiembre de 2019, estas se destinaban a la siembra de la siguiente zafra. El tamaño de la muestra fue aproximadamente de 500 g peso requerido por las reglas ISTA para el análisis de pureza y germinación. Luego fueron enviadas al laboratorio de semillas de INIA La Estanzuela donde permanecieron en condiciones de 17°C y humedad relativa de 70% hasta que fueron analizadas.

3.3 VARIABLES ESTUDIADAS

3.3.1 Obtención de la muestra de trabajo

Antes de realizar los análisis de calidad la muestra fue homogeneizada en forma manual. Para evaluar la germinación y viabilidad, se utilizaron semillas “puras”. Según las reglas de ISTA (2022) semillas puras son: semillas intactas, semillas inmaduras, arrugadas, abolladas, dañadas, con distinta coloración, germinadas, afectadas por patógenos y/o tamaño inferior al normal, siempre que una porción del tegumento este adherida y pueda ser identificadas como pertenecientes a la especie.

3.3.2 Germinación

Se sembraron cuatro repeticiones de 50 semillas por muestra entre dos hojas de papel (anchor paper de 10’’ x 20’’ de tamaño y 76 lb de espesor), humedecidos con 80 ml de agua destilada. La incubación se realizó en una cámara de germinación a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ con un fotoperíodo de 8/16 horas. (luz-oscuridad) durante 8 días. Se evaluó número de plantas normales a los cinco días del inicio de la germinación y plantas normales,

anormales y semillas muertas al final del período de germinación (ISTA, 2022, Figuras 2, 3 y 4).

Figura 2

Crecimiento y desarrollo de plántulas cuando se utiliza para el análisis de germinación (sustrato papel)



Nota. Tomado de Farrás (2019).

Figura 3

Criterios de evaluación de plántulas Glycine max (Soja) en el análisis de germinación (sustrato papel)



Nota. Tomado de Farrás (2019).

Figura 4

Criterios de evaluación de plántulas de Glycine max (Soja) en el análisis de germinación



Nota. Tomado de Farrás (2011).

Las semillas muertas (Figura 5) absorben agua, suelen ser blandas o descoloridas o con frecuencia mohoso, y no muestran signos de plántula desarrollo.

Figura 5

Semilla no germinada, muerta



Nota. Tomado de Gallo et al. (2018).

3.3.3 Vigor y Viabilidad por tetrazolio

Se sembraron dos repeticiones de 50 semillas por muestra entre dos hojas de papel (anchor papel de 10'' x 20'' de tamaño y 76 lb de espesor), humedecidos con 80 ml de agua destilada. Las muestras se colocaron dentro de bolsas de nylon para evitar la evaporación, a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ durante 16 a 18 horas (Figura 6). Este procedimiento de imbibición se realiza para mejorar la penetración del tetrazolio en las semillas, asegurar una tinción uniforme y facilitar la posterior evaluación (ISTA, 2022).

Figura 6

Procedimiento de imbibición, disposición de las semillas en rollos de papel



Posteriormente las semillas se sumergieron en una solución de cloruro de 2,3,5 trifenil tetrazolio a una concentración de 0.1 % durante 3 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 2$ en oscuridad (Figura 7).

Figura 7

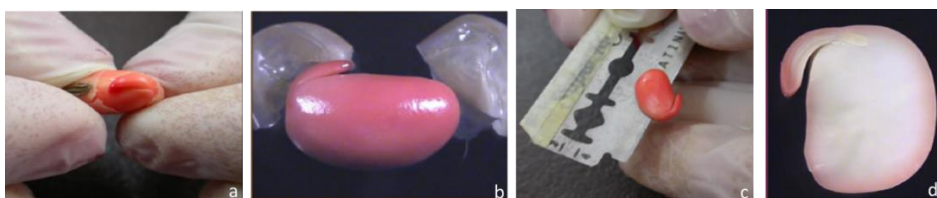
Semillas sumergidas en la sal de tetrazolio completamente teñidas



Durante la evaluación las semillas permanecieron sumergidas en agua para evitar la deshidratación y decoloración. El tegumento de la semilla se removió manualmente y luego se expuso el embrión para cortarlo a la mitad de los cotiledones e hipocótilo con una hoja de afeitar (Figura 8).

Figura 8

Evaluación de la semilla de Glycine max (Soja)



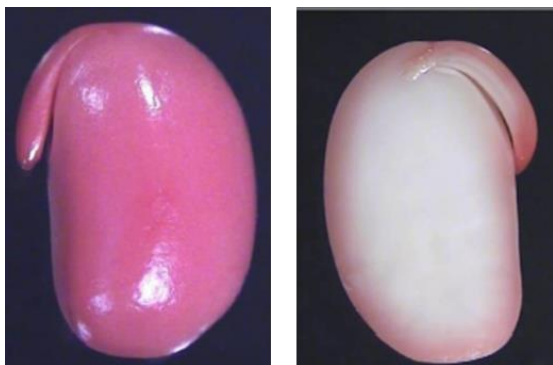
Nota. Tomado de Gallo et al. (2016).

Según la profundidad y extensión de los daños, las semillas fueron clasificadas en 5 categorías: semillas de vigor alto (VA, Figura 9), semillas de vigor medio (VM, Figura 10), semillas de vigor bajo (VB, Figura 11), semillas en límite crítico (LC, Figura 12), semillas no viables (NV, Figura 13).

El vigor se conformó por la sumatoria de VA + VB + VM, y para el cálculo de viabilidad a las categorías anteriores se les suma las de LC. A continuación, se describen los criterios que considera la técnica para clasificar las semillas según su vigor.

Figura 9

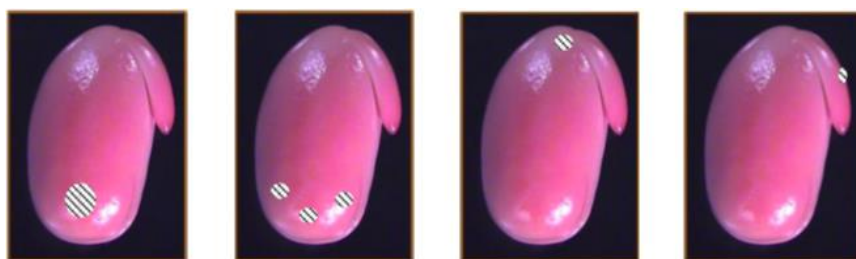
Semilla completamente turgente y teñida de color rosa



Nota. Tomado de Gallo et al. (2016).

Figura 10

Semillas de vigor medio (categoría No. 2)

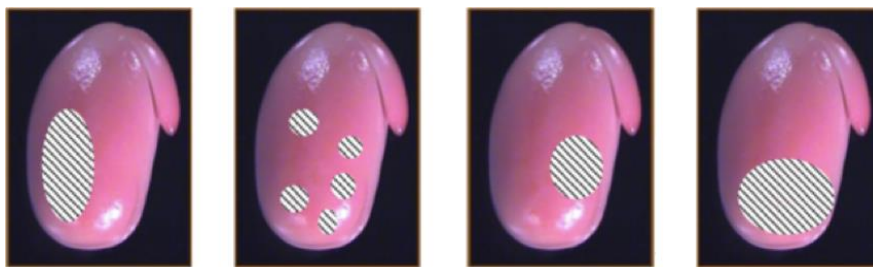


Nota. Tomado de Gallo et al. (2016).

Las semillas de vigor medio (Figura 10) presentan áreas menores de color rojo intenso o sin tinción, flácidos o necróticos con extensión limitada y profundidad superficial. Pueden estar localizadas en cualquier lugar de la semilla, incluso en el embrión.

Figura 11

Semillas de vigor bajo (categoría No. 3)



Nota. Tomado de Gallo et al. (2016).

Las semillas de vigor bajo (Figura 11) presentaran múltiples áreas de color rojo intenso, sin tinción, flácidos o necróticos con una extensión de $\frac{1}{3}$ del área cotiledonar hasta $\frac{3}{3}$ del área distal de los cotiledones y una profundidad de $\frac{1}{2}$ del cotiledón hasta el cotiledón entero.

Figura 12

Semillas en límite crítico (categoría No. 4)



Nota. Tomado de Gallo et al. (2016).

Las semillas en límite crítico (Figura 12) presentan daños en zonas críticas como radícula (con una extensión de hasta $\frac{1}{3}$), unión de eje embrionario deteriorado rojo intenso, o cotiledones con menos de $\frac{1}{2}$ de tejido deteriorado o sin tinción. Debido a esto, son semillas viables, no vigorosas.

Figura 13*Semillas no viables (categoría No. 5)**Nota.* Tomado de Gallo et al. (2016).

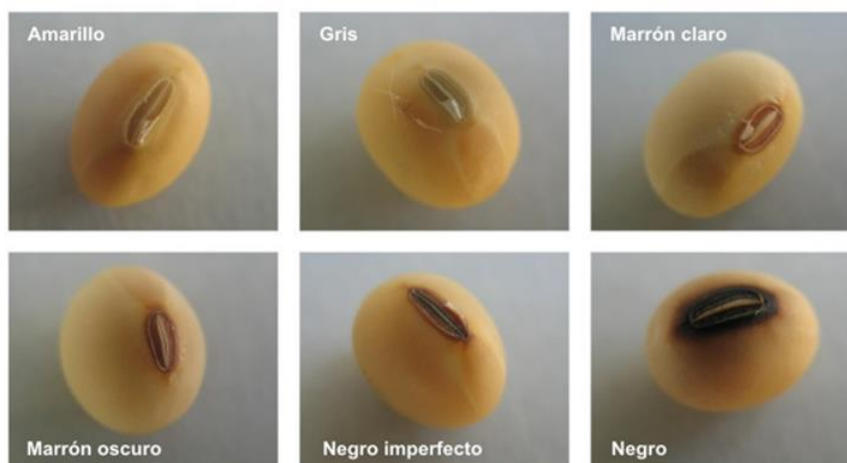
Las semillas no viables (Figura 13) presentan daños en zonas críticas como radícula (más de $\frac{1}{3}$), unión de eje embrionario sin tinción, cotiledones con más de $\frac{1}{2}$ de tejido deteriorado o sin tinción, semilla no teñida.

3.3.4 Verificación de identidad varietal

Se comparó la coloración del hilio de cada muestra con el color de hilio descrito por el INASE para el cultivar (INASE, 2019, Figura 14). Para ello se utilizaron dos metodologías de muestreo: a) se observó la muestra en general y se detectó si había semillas con coloraciones de hilio diferente a la descrita para el cultivar (presencia o ausencia) b) Se tomaron al azar dos submuestras de 100 semillas cada una de una muestra de peso aproximado de 500g. A cada una de ellas se le cuantificó el número de semillas que presentaban hilio de coloración diferente a la descripción varietal, los resultados se expresaron en %.

Figura 14

Expresión del color del hilio en la semilla de Glycine max (L.) Merril



Nota. Tomado de INASE (2019).

3.3.5 Condiciones climáticas

Se estudiaron las precipitaciones acumuladas y temperatura medias para el año de estudio (nov. 2018 a mayo 2019) con respecto a la serie histórica para cada región de producción durante los meses en que ocurrió la implantación del cultivo, el período de llenado de semillas y el momento aproximado de cosecha. Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas según su proximidad a los sitios donde se recolectaron la mayor cantidad de muestras dentro de cada región ver Tabla 5.

Tabla 5

Ubicación de las estaciones meteorológicas y registros históricos en los períodos que abarcan

Región	Departamentos	Ubicación de la estación meteorológica	Registros históricos
Litoral Norte	Salto Paysandú Rio Negro	Young	1988-2017
Litoral Sur	Soriano Colonia Canelones San José	INIA La Estanzuela	1965-2017
Centro	Durazno Flores Florida	Durazno	2014-2017
Sureste	Maldonado Rocha Lavalleja Treinta y Tres	INIA Treinta y Tres	1971-2017
Noreste	Cerro Largo Tacuarembó	INIA Tacuarembó	1978-2017

Para este estudio no tuvimos información del momento de siembra, cosecha y estados fenológicos de los cultivares en cada región de colecta. Por lo tanto, se estimó el período de llenado de semillas (R5-R7) y de cosecha de los cultivos (R8), para lo cual, se utilizó como referencia la información generada en la Evaluación de Cultivares de Soja para los años de estudio (Cuitiño et al., 2019). También se consideró que, de un total de 138 muestras de estudio, 1% de ellas pertenecieron al grupo de madurez IV, 47% al V y 52% a cultivares del grupo de madurez VI, todas ellos de ciclo medio a largos.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las medias de germinación, viabilidad, vigor y los diferentes daños se evaluaron para cada región en estudio mediante la prueba de Kruskal Wallis. Se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman entre germinación y viabilidad para cada región de estudio y entre los dos métodos de estimación de identidad varietal. Los datos fueron analizados con el software InfoStat/L versión 2016.

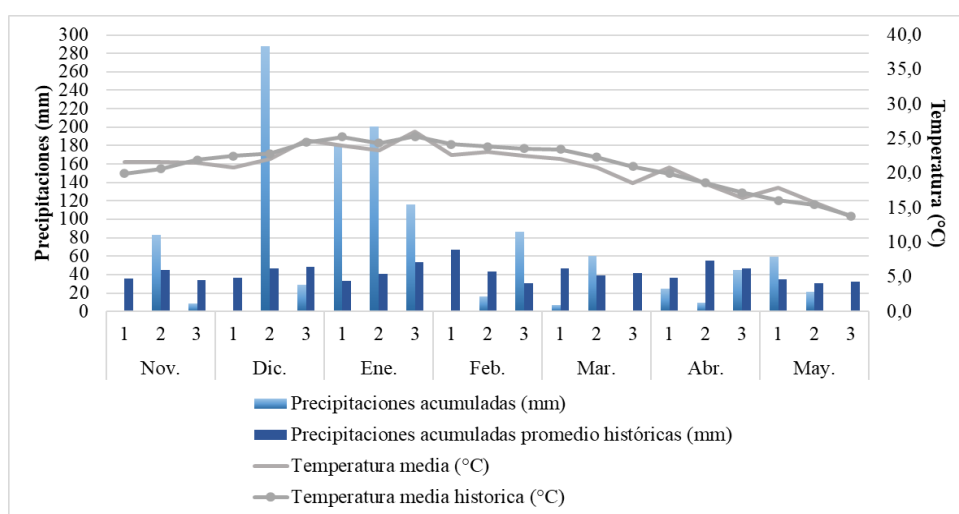
4 RESULTADOS

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

En la región Litoral Norte las precipitaciones acumuladas desde noviembre de 2018 a mayo de 2019 (1243,7 mm) fueron superiores a las del promedio histórico (878,8 mm; Figura 15).

Figura 15

Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Litoral Norte



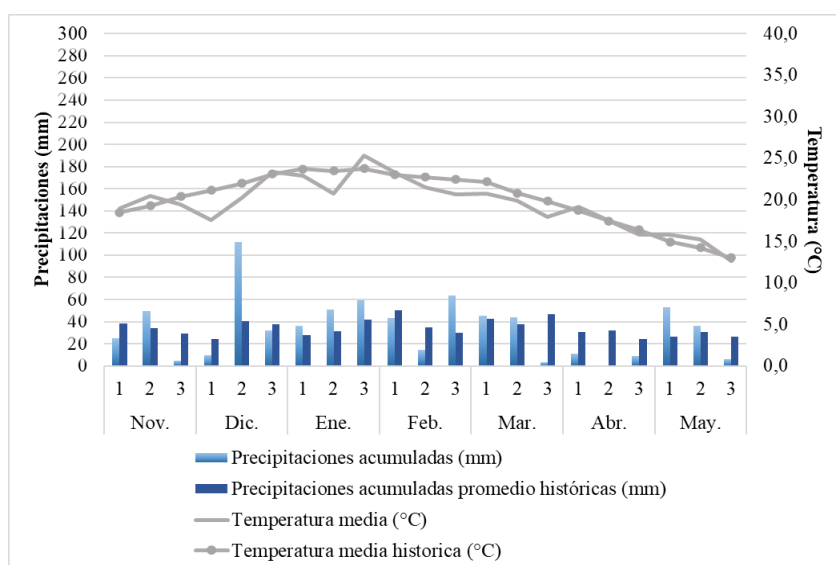
Nota. Elaborado a partir de Sociedad Rural de Río Negro (comunicación personal, 4 de agosto, 2022). Período analizado (noviembre 2018 – mayo 2019) con las variables temperaturas y precipitaciones.

En el periodo de estudio ocurrieron precipitaciones en los meses de diciembre (317,2 mm) y enero (496,4 mm) que superaron ampliamente el promedio histórico y coincidió con la etapa de mayor crecimiento vegetativo del cultivo. Las lluvias registradas durante el mes de marzo y la primera década de abril fueron inferiores al promedio histórico (91 mm y 164,1 mm respectivamente). Esto es un dato importante debido a que en dicho período ocurre en general el llenado de las semillas (R5-R7). Durante la última década de abril y primeros 10 días del mes de mayo momento en el cual ocurre la cosecha de los cultivos, las precipitaciones acumuladas fueron levemente superiores a las históricas (104,9 vs. 82,1 mm).

No se registraron diferencias en la temperatura promedio del año de estudio (20,9°C) con respecto al promedio histórico (21,3 °C). Durante el mes de marzo y primera década de abril momento en el cual ocurre el llenado de las semillas las temperaturas fueron en promedio más frescas (20,6°C) que el promedio histórico (21,7°C; Figura 15). Para la región Litoral Sur las lluvias acumuladas durante el período de estudio fueron 710,2 mm, similares a las del promedio histórico de 719,2 mm (Figura 16).

Figura 16

Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Litoral Sur



Nota. Elaborado a partir de INIA (s.f.), donde se seleccionó la estación experimental INIA La Estanzuela, período analizado (noviembre 2018 – mayo 2019) con las variables temperaturas y precipitaciones.

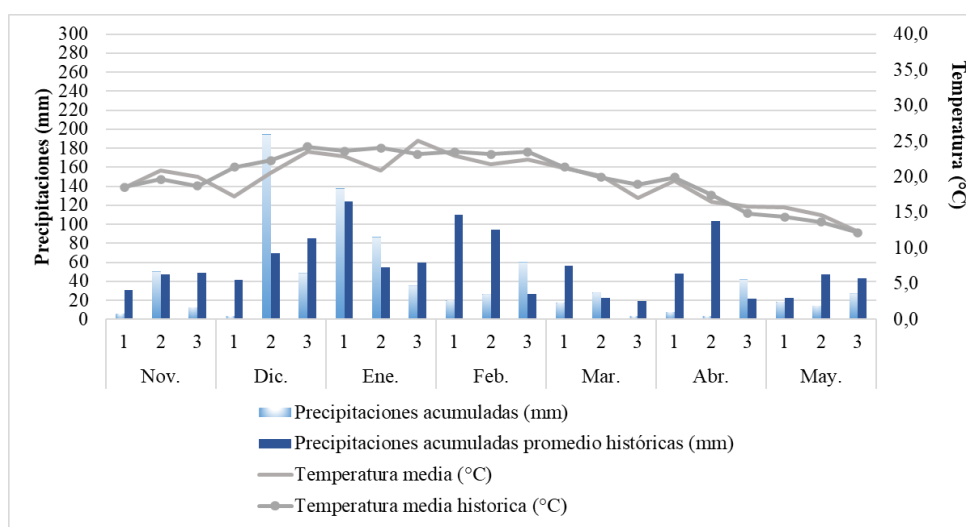
Las precipitaciones en la segunda década de diciembre fueron casi el triple en comparación con las registradas en el promedio histórico (112 vs 40,6) lo que favoreció las primeras etapas de desarrollo de los cultivos. Con respecto a los meses en que ocurrió el llenado de las semillas, las precipitaciones fueron 20,4% menos que el promedio histórico. Durante los primeros 10 días del mes de mayo las precipitaciones acumuladas fueron levemente superiores a las históricas (52,9 vs. 26,2 mm) coincidiendo con el periodo de cosecha.

Las temperaturas promedio durante el período de estudio fueron similares con respecto a la del promedio histórico (19,5°C vs. 20,1°C respectivamente) (Figura 16).

Hay dos décadas donde la temperatura promedio del año que es inferior del promedio histórico (primera de diciembre, segunda de enero por una diferencia de más de 2,5 puntos. Para la región Centro las precipitaciones acumuladas desde noviembre 2018 a mayo de 2019 (848,8 mm) fueron levemente inferiores a las del promedio histórico (1178,9 mm; Figura 17).

Figura 17

Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Centro



Nota. Elaborado a partir de Estación Durazno (comunicación personal, 3 de agosto, 2022), período analizado (noviembre 2018 – mayo 2019), con las variables temperaturas y precipitaciones.

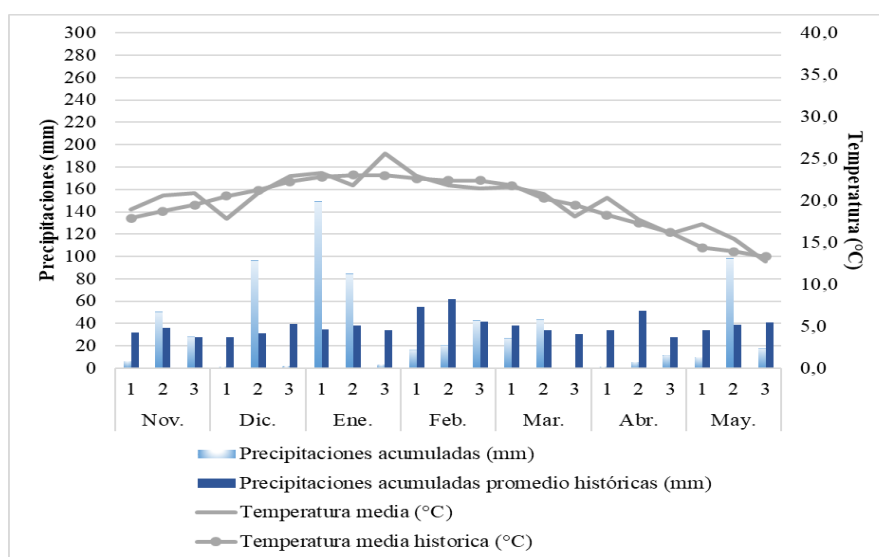
Las lluvias acumuladas en la segunda década de diciembre (194,7mm) y en la primera década de enero (138,0 mm) fueron mayores a las del registro histórico (69,8 y 123,9 mm respectivamente), momento en el cual los cultivos estaban en pleno crecimiento vegetativo. Durante el periodo de llenado de semilla (marzo y primera década de abril, R5-R7) en el año de estudio, las precipitaciones fueron inferiores en comparación al promedio histórico (57,3 vs. 146,1 mm). En el período de cosecha las lluvias fueron mayores (60,9 mm) al promedio histórico (44, 7 mm).

En cuanto a las temperaturas promedio del año de estudio (19,5 °C) fueron similares a las del registro histórico (19,9 °C). A excepción de la primera década de diciembre y la segunda década de enero, donde la temperatura media del año fue menor, 4,0 °C y 3,1°C respectivamente a la temperatura promedio de la serie histórica. En el

periodo de llenado de semilla como en la cosecha, las temperaturas promedio del período de estudio no presentaron grandes diferencias con respecto a los registros históricos (19,4 vs. 20,0 y 15,8 vs. 14,6 °C respectivamente; Figura 17). Para la región Sureste las precipitaciones acumuladas (718,7 mm) desde noviembre 2018 a mayo de 2019 fueron levemente inferiores a las del promedio histórico (790,2 mm; Figura 18).

Figura 18

Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Sureste



Nota. Elaborado a partir de INIA (s.f.), donde se seleccionó la estación INIA Treinta y Tres para el período analizado (noviembre 2018 – mayo 2019) con las variables temperaturas y precipitaciones.

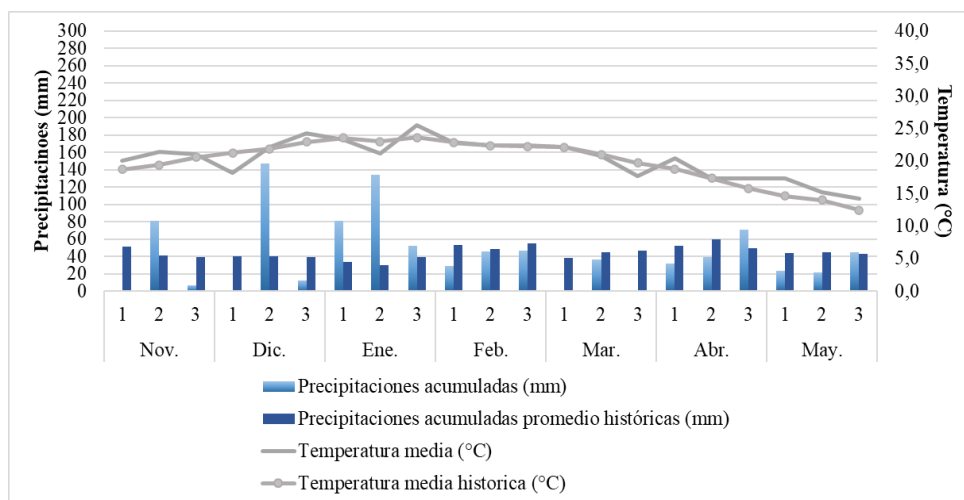
En el momento de la implantación (diciembre y enero) las precipitaciones fueron superiores a las del registro histórico (337,6 vs. 205,4 mm respectivamente). Mientras que para el periodo de llenado de semillas las precipitaciones (72,5 mm) fueron inferiores a las de la serie histórica (137,6 mm). En el momento de la cosecha las lluvias fueron menores (21,1 mm) en el periodo de estudio en relación con la serie histórica 62,0 mm.

La temperatura promedio de todo el ciclo del cultivo (20,0°C) fue similar a la temperatura promedio histórica (19,6 °C). En la implantación como en el periodo de llenado de semillas las temperaturas fueron similares a las de la serie histórica (22,1 vs 22,2 °C y 20,2 vs 20,0°C, respectivamente) En el periodo de cosecha el año de estudio la temperatura promedio fue levemente superior (16,6°C) a la media histórica (15,3 °C).

Para la región Noreste las precipitaciones en el periodo de estudio fueron similares al promedio histórico (907,1 vs. 933,4 mm; Figura 19).

Figura 19

Temperatura (°C) y precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio contrastados con promedios históricos, Región Noreste



Nota. Elaborado a partir de INIA (s.f.), donde se seleccionó la estación INIA Tacuarembó para el período analizado (noviembre 2018 – mayo 2019) con las variables temperaturas y precipitaciones.

En los meses de diciembre y enero en que el cultivo estuvo creciendo llovieron 426,4 mm, 31% más con respecto a la serie histórica (222,3 mm). El llenado de las semillas ocurrió con precipitaciones significativamente inferiores al promedio histórico (69,5 vs. 182,0 mm). Finalmente en el periodo de cosecha ocurrieron similares precipitaciones respecto a los registros históricos (94,3 vs. 92,6 mm respectivamente). Desde la siembra a la cosecha las temperaturas fueron similares con respecto a la serie histórica (20,3 vs. 19,6 °C), no obstante, en el período de cosecha, las temperaturas fueron más cálidas (17,3°C) que la serie histórica (15,2°C).

4.2 GERMINACIÓN Y VIABILIDAD

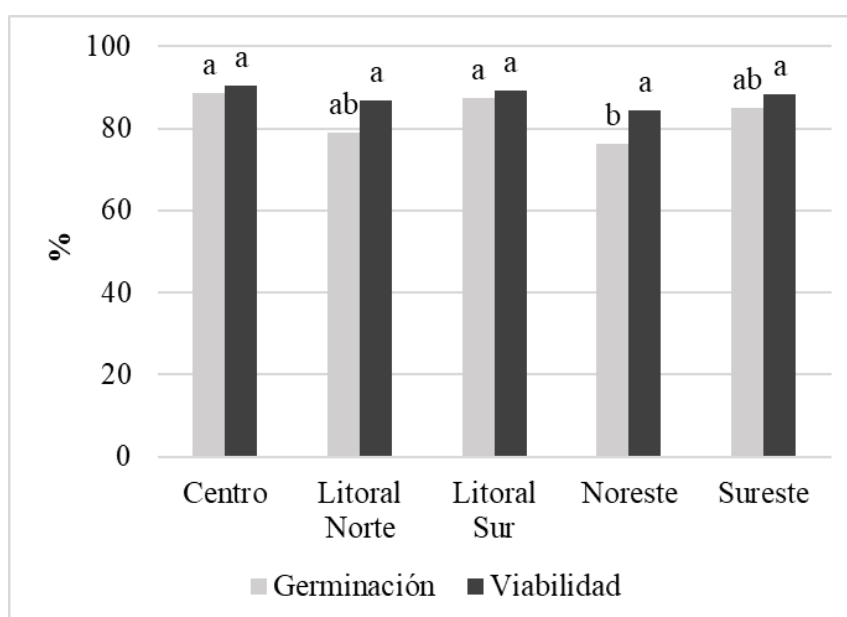
Se observaron diferencias significativas ($p=0,04$) de germinación, entre la región Noreste (76%) y las regiones Litoral Sur y Centro que en promedio presentaron una germinación de 88%. Las regiones del Litoral Norte y Sureste presentaron una germinación promedio de 82%, no presentando diferencias significativas ($p>0,05$) con las demás regiones de estudio (Figura 20). La mayor variación se observó en la región

Litoral Norte, con un coeficiente de variación del 26,7%, mientras que la región con menor variabilidad fue Centro, con un 6,9% (Tabla 6).

En viabilidad no se registraron diferencias estadísticas ($p=0,25$) entre las regiones de producción, siendo en promedio de 88% (Figura 20). Consecuentemente, el porcentaje de semillas no viables fue 9,5 a 15,8 % y no presentó diferencias significativas ($p=0,23$) entre regiones de producción. La región Sureste presentó la mayor variabilidad, con un coeficiente de variación del 15,1%, en comparación con las demás regiones (Tabla 6).

Figura 20

Porcentaje promedio de germinación y viabilidad para las diferentes regiones



Nota. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) para cada variable en las diferentes regiones de producción.

Tabla 6

Máximo, mínimo y coeficiente de variación de variables estudiados por región

Regiones	Germinación			Viabilidad			Vigor		
	Mínimo	Máximo	C.V.	Mínimo	Máximo	C.V.	Mínimo	Máximo	C.V.
Centro	76,0	99,0	6,9	82,0	98,0	4,8	71,0	97,0	7,7
Litoral Norte	0,0	98,0	26,7	61,0	100,0	10,2	42,0	98,0	14,8
Litoral Sur	40,0	98,0	11,0	53,0	99,0	9,3	44,0	98,0	11,4
Noreste	64,0	89,0	13,4	76,0	91,0	8,8	69,0	86,0	9,6
Sureste	30,0	98,0	19,0	42,0	97,0	15,1	32,0	97,0	18,1

4.3 VIGOR

No se registraron diferencias significativas ($p=0,06$) en el vigor de las semillas entre regiones de producción, se obtuvo un valor medio de 82,8%. Lo mismo ocurre con los valores de las semillas no vigorosas pertenecientes al límite crítico (media 5,0%, $p=0,06$; Tabla 7).

Tabla 7

Semillas vigorosas (vigor) y no vigorosas (límite crítico) estimado mediante la prueba topográfica por tetrazolio

	Regiones					Media
	Centro	Litoral Norte	Litoral Sur	Noreste	Sureste	
Vigor	86,6 a	81,2 a	84,8 a	76,5 a	84,7 a	82,8
Límite Crítico	3,9 a	5,6 a	4,4 a	7,7 a	3,7 a	5,0

Nota. Letras diferentes dentro de la misma fila son estadísticamente diferentes (prueba de Kruskal Wallis $p \leq 0,05$).

4.4 DAÑOS

El daño mecánico en las diferentes regiones fue similar ($p=0,7$) con un valor promedio de 3,4% (Tabla 8). Se observaron diferencias significativas ($p=0,01$) en el daño ambiental para las diferentes regiones, la región Centro presentó menor daño (9,6%) que el Noreste (31,0 %).

En las regiones Litoral Norte y Litoral Sur el daño fue similar 23,1 y 19,0 % respectivamente, viéndose un daño intermedio para la región Sureste (17,7%; Tabla 8). En cuanto a los daños por chinche y fracturas no se registraron diferencias significativas ($p=0,13$ y $p=0,74$) entre las regiones de producción, presentaron un valor promedio de 6,9 y 7,6 % respectivamente.

Los daños agrupados dentro de la categoría “otros” debidos principalmente a mal formaciones genéticas fueron mayores ($p=0,01$) en el Noreste (2%) que en Litoral Sur (0,4), mientras que entre las regiones restantes no hubo diferencias significativas y presentaron un valor promedio de 1% de daño (Tabla 8). La sumatoria de los daños de chinche + ambiente no presentó diferencias significativas entre regiones ($p= 0,1198$) con un valor promedio de 13%.

Tabla 8

Porcentaje de daños presentes en categorías límite crítico (semillas no vigorosas) y no viables

Regiones	Daños (%)					
	Mecánico	Ambiente	Chinche	Fractura	Otros	Ambiente + Chinche
Centro	3,2 a	9,6 a	7,6 a	8,9 a	0,9 ab	8,6 a
Litoral Norte	4,0 a	23,1 bc	5,3 a	7,6 a	1,0 ab	14,6 a
Litoral Sur	3,2 a	19,0 bc	3,9 a	8,0 a	0,4 a	11,5 a
Noreste	3,5 a	31,0 c	12,5 a	7,5 a	2,0 b	21,7 a
Sureste	2,9 a	17,7 ab	5,1 a	6,0 a	1,9 ab	11,4 a
Media	3,4	20,1	6,9	7,6	1,2	13,5
C.V	111,7	101,6	110,2	87,4	172,0	91,3

Nota. Letras diferentes dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes (prueba de Kruskal Wallis $p \leq 0,05$).

4.5 CONTAMINACIÓN VARIETAL

No se observó diferencias significativas en la contaminación varietal en las diferentes regiones de producción para las dos metodologías empleadas. Cuando la observación fue visual sobre la muestra general el valor promedio de contaminación de las regiones fue 0,4% del total de muestras analizadas ($p=0,92$; Tabla 9) y cuando se analizaron dos réplicas de 100 semillas fue 6,9% ($p=0,97$).

Tabla 9

Contaminación varietal mediante el método de observación para las diferentes regiones de estudio

	Regiones				
	Centro	Litoral Norte	Litoral Sur	Noreste	Sureste
General	0,35 a	0,37 a	0,30 a	0,50 a	0,33 a

* $p > 0,05$ no significativo.

Para la totalidad de los datos se observó que ambos métodos presentan una correlación positiva y moderada ($p < 0,0001$ y $r = 0,61$).

5 DISCUSIÓN

Es importante destacar que, para representar adecuadamente todo el país, los resultados deberían haberse basado en un total de 300 muestras, no obstante, el estudio se realizó con 138 muestras lo que podría haber limitado la representatividad de los hallazgos y su generalización a nivel nacional.

En cuanto a los estándares de germinación de semillas de soja en la región, se observa una uniformidad en los requisitos para la comercialización en Argentina, Brasil y Uruguay, donde el valor mínimo se establece en el 80%. Este valor es cumplido en las regiones Centro, Litoral Sur y Sureste. Sin embargo, las regiones Noreste y Litoral Norte presentan valores de germinación inferiores, con un 76% y 79%, respectivamente.

La germinación y viabilidad promedio de las regiones fue inferior a 90% valor mínimo deseable para lotes de semillas de soja de calidad alta (López, 2020; Rossi & González, 2006). Esto se debió a la elevada presencia de daño de ambiente de producción y de chinches, que superaron el valor máximo deseable de 6% según J. B. Asociación Civil Uruguaya para la Protección de los Obtentores (comunicación personal, 9-12 de junio, 2015).

El daño de ambiente puede estar asociado a que las semillas pasaron un periodo prolongado de “secado a campo” hasta alcanzar valores de humedad del 12-13% necesarios para su cosecha y almacenamiento seguro. Uno de los factores que puede haber incidido es que, en tres de las cinco regiones de producción, las lluvias cercanas al momento de la cosecha superaron el promedio histórico. Esto, concuerda con los resultados obtenidos por Torterolo (2021) y Rossi y González (2006) quienes observaron que, a medida que se retrasa la fecha de cosecha, el daño del ambiente se incrementa y comprometen la integridad física y fisiológica de la semilla.

Sumado a lo anterior, en las regiones Litoral Norte y Noreste la diferencia entre el valor de germinación promedio y el de viabilidad promedio superó el valor deseable de 5% según França-Neto y Krzyzanowski (2018). Esto podría deberse a la presencia de hongos en las semillas que reducen la germinación como mencionan Bauer et al. (2003) y González y Rossi (2016). Los resultados mostraron que estas regiones presentaron mayores valores de daño por chinche y de ambiente en comparación con el resto de las regiones. Sin embargo, esta tendencia debe interpretarse con precaución debido a la

incertidumbre asociada al reducido número de muestras analizadas por región y a los coeficientes de variación de los resultados.

Para las muestras de la región Noreste, la alta presencia de daño ambiental y de chinche en las semillas pudo haber facilitado la entrada de hongos durante el almacenamiento, lo que podría haber colaborado en reducir la germinación como menciona Fernández (s.f.).

Aunque la viabilidad y la germinación no fueron las deseables para lotes de semillas de alta calidad, el vigor promedio de las semillas en las regiones evaluadas fue excelente, de 83%. Estos resultados sugieren una alta capacidad de las semillas para soportar condiciones adversas, lo que concuerda con los hallazgos de Elliot y Pérez (2017), quien destacó la importancia del vigor como un indicador crucial de la calidad de las semillas.

Si se considera que en la producción de semillas propia no se realizan inspecciones que garantizan la calidad genética INASE (2017), las muestras analizadas presentaron reducida contaminación varietal en comparación con el antecedente reportado por INASE y URUPOV (Menoni, 2020) donde el 77% de las muestras analizadas mediante técnicas moleculares no correspondían con la variedad declarada. Hay que considerar que el único elemento de diferenciación varietal considerado en este estudio fue el color de hilio que solo tiene seis variaciones y por lo tanto es compartido por muchos cultivares diferentes.

El método de réplicas es adecuado para identificar la contaminación varietal, mostrando una correlación moderada y positiva con la observación visual de la muestra general. Este método detectó 17 veces más casos de contaminación que la observación visual, lo que sugiere que dichos casos deberían ser analizados mediante técnicas moleculares, según la comunicación personal de V. Olivieri (15 de junio, 2023).

6 CONCLUSIÓN

Las semillas de soja reservadas para uso propio podrían presentar deficiencias en viabilidad y germinación debidos principalmente a daño de chinche y ambiente. Esto, sugiere la necesidad de optimizar el manejo de los semilleros con relación a la plaga y utilizar secado artificial para alcanzar rápidamente los niveles de humedad óptimos para reducir la exposición prolongada a condiciones ambientales adversas. Si el método empleado para analizar la contaminación varietal es el método visual sobre la muestra general se puede subestimar esta característica y consecuentemente el número de lotes que deberían estudiarse mediante análisis molecular.

La calidad de semillas de uso propio se debería analizar en forma anual, para conocer cuáles son los factores principales que la reducen y brindar información anticipada para la siguiente zafra. La limitación del tamaño de la muestra subraya la importancia de realizar estudios con un número mayor de muestras para obtener conclusiones más representativas a nivel nacional.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aragón, J. (2017, 11 de agosto). *Insectos perjudiciales de la soja y su manejo integrado en la Región Pampeana Central*. Agrositio
<https://www.agrositio.com.ar/noticia/32457-insectos-perjudiciales-de-la-soja-y-su-manejo-integrado-en-la-region-pampeana-central.html#:~:text=La%20soja%20es%20atacada%20por,y%20calidad%20de%20la%20semilla>
- Asociación Civil Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales. (s.f.). *Sistema de Valor Tecnológico: ¿De qué se trata?*
<https://www.urupov.org.uy/sistema-de-valor-tecnologico/>
- Asociación Civil Uruguay para la Protección de los Obtentores Vegetales. (2022). *Teledetección y caracterización del cultivo de soja en Uruguay*.
<https://www.urupov.org.uy/wp-content/uploads/2022/05/Informe-Soja-Uruguay-2022.pdf>
- Barrios, A., Larzabal, J., & Schaffner, S. (2014). *Relevamiento de las principales enfermedades de hoja, tallo y raíz en el cultivo de soja* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <http://hdl.handle.net/20.500.12008/8768>
- Bauer, G., Weilenmann de Tau, E., Peretti, A., & Monterrubianesi, G. (2003). Germinación y vigor de semillas de soja del grupo de maduración III cosechadas bajo diferentes condiciones climáticas. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(2), 53-62.
<https://www.scielo.br/j/rbs/a/r6d7kbxxYMjCf3H3KRskHdW/?format=pdf&lang=es>
- Boschi, F., Moure, S. & Olivieri, V. (2010) *Jornada de Campo: Evaluación y Registro de cultivares*. INASE. <https://www.inase.uy/files/docs2340591178de01c5.pdf>
- Cagnolo, P. D. (2011). *Efecto del ambiente en la calidad fisiológica de semillas de cultivares de soja* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional de Río Cuarto]. Producción Vegetal UNRC.
https://www.produccionvegetalunrc.org/images/fotos/170_TRABAJO%20FINAL%20240311.pdf

- Cossar, M. L. (2016). *Cuantificación de daño mecánico en semilla de soja desde cosecha hasta almacenaje* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional de Rosario]. RepHip UNR.
<https://rephip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/a5519072-9bd3-4c4e-b5d5-2f3b83d5275a/content>
- Cuitiño, M. J., Manasliski, S., Stewart, S., Morales, X., & Cardozo, V. (2019). Resultados. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria e Instituto Nacional de Semillas (Eds.), *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivos de soja: Periodo 2018* (pp. 15-53).
<https://v.calameo.com/?bkcode=002993183912f9ab11480>
- Dos Santos, P. M., Reis, M. S., Sediya, T., Araújo, E. F., Cecon, P. R., & Dos Santos, M. R. (2005). Efeito da classificação por tamanho da semente de soja na sua qualidade fisiológica durante o armazenamento. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27(3), 395-402.
<https://www.redalyc.org/pdf/3030/303026559003.pdf>
- D-mapas (2024). [República Oriental del Uruguay, fronteras, departamentos, blanco. Mapa]. Recuperado el 30 de julio de 2024, de https://d-maps.com/carte.php?num_car=4537&lang=es
- Elliot, I., & Pérez, C. (2017). *Importancia de conocer el vigor de la semilla de soja*. Clínica Vegetal. <http://clinicavegetal.com/wp-content/uploads/2017/08/VIGOR-DE-SEMILLAS-DE-SOJA.pdf>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2004). *Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2005*.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54294/1/Sistemas-de-Producao-6.pdf>
- Farrás, T. (2011). *Criterio de evaluación de plántulas de Glycine max (Soja) según el substrato utilizado en el análisis de germinación*. INASE.
<https://www.inase.uy/files/docsb3f54297b8d3f9b9.pdf>
- Farrás, T. (2018). Calidad de semilla: Qué implica y cómo determinarla. *Revista del Plan Agropecuario*, (166), 64-65.
https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/180_2775.pdf

- Farrás, T. (2019). *Guía práctica. Calidad físico-fisiológica de semilla de soja (Glycine max (L.) Merrill)*. INASE.
- Fernández, A. (s.f.). “Hongos” que afectan al poroto de soja y otros cereales y su implicancia en la salud animal. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/Micotoxicosis/95-hongos.pdf
- Figueredo, S., Guibert, M., & Arbeletche P. (2019). Ciclo sojero y estrategias de los actores de la producción agropecuaria en el litoral uruguayo. *Eutopía*, (16), 99-118. <https://doi.org/10.17141/eutopia.16.2019.4103>
- Fornos, M. I., & Sanguinetti, G. (2009). La etiqueta en la bolsa: Respaldo para el usuario. *Revista del Plan Agropecuario*, (130), 58-59. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R130/R_130_58.pdf
- França-Neto, J. B., & Krzyzanowski, F. C. (2018). *Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja*. EMBRAPA. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193315/1/Doc-406-OL.pdf>
- França-Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., & De Pádua, G. P. (2017). Características fisiológicas da semente: Vigor, viabilidade, germinação, danos mecânicos tetrazólio, deterioração por umidade tetrazólio, dano por percevejo tetrazólio e sementes verdes. En I. Lorini (Ed.), *Qualidade de Sementes e Grãos Comerciais de Soja no Brasil: Safra 2015/16* (pp. 35-61). EMBRAPA. <https://www.embrapa.br/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076672/qualidade-de-sementes-e-graos-comerciais-de-soja-no-brasil---safra-201516>
- França-Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., & Pereira, N. (1998). *El test de tetrazolio en semilla de soja*. EMBRAPA.
- Gallo, C., Arango, M., & Craviotto, R. (2018). Actualización de criterios en la evaluación de plántulas de soja. *Para mejorar la Producción*, (57), 29-40.

- Gallo, C., Ceccarelli, N., Bacigaluppo, S., Craviotto, R., & Arango, M. (2011). Diagnóstico de la calidad de semillas de soja de la campaña 2010-2011 producidas en la localidad de Oliveros, Argentina. *Para mejorar la Producción*, (46), 81-86.
- Gallo, C., Enrico, J. M., Craviotto, R., & Arango, M. (2012). Variabilidad de la viabilidad y vigor de lotes de semillas de soja con presencia de simientes verdes pertenecientes a cultivares de distintos grupos de maduración producidos en dos fechas de siembra. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(2), 133-140. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142012000200006&script=sci_abstract
- Gallo, C., França-Neto, J. B., Arango, M., González, S., Francomano, V., Carracedo, C., Costa, O., Alves, R., & Craviotto, R. (2016). Prueba de tetrazolio como método de vigor para semillas de Glycine max: Propuesta de validación del método para ISTA. *Para mejorar la Producción*, (54), 105-114. <https://www.studocu.com/es-ar/document/instituto-universitario-isedet/lectura-y-escritura-academica/inta-11-semillas/30772390>
- García-López, J., Ruiz-Torres, N., Lira-Saldivar, R., Vera-Reyes, I., & Méndez-Argüello, B. (2016). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. En R. Lira (Ed.), *Agronano Tecnología: Nueva frontera de la revolución verde* (pp. 241-262). CIQA. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/149/1/Libro%20Agronano%20tecnologia.pdf>
- González, S. (2006). Enfermedades en el cultivo de soja: ¿Transmisible por semilla? *Cangüé*, (28), 37-39. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10617/1/Cangue-2006-no.-28-p.-37-39-Gonzalez-et-al.pdf>
- González, S., & Rossi, C. (2016). *Problemas de calidad de semillas de soja. Zafra 2015-2016*. INIA. <https://las.uy/wp-content/uploads/2016/07/Calidad-de-soja-2015-16- aportes-de-INIA.pdf>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). Banco datos agroclimático. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>

- Instituto Nacional de Semillas. (2008). *Estándar específico de soja*.
<https://www.inase.uy/Files/Docs/5D666C2FD8EFB8BB.pdf>
- Instituto Nacional de Semillas. (2017). La semilla: El gran comienzo. *Revista del Plan Agropecuario*, (63), 60-62.
https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/175_2714.pdf
- Instituto Nacional de Semillas. (2019). *Descripción de cultivares de soja*.
<https://v.calameo.com/?bkcode=00299318301f3e106f60d>
- Instituto Nacional de Semillas. (2021). *Guía práctica: Inspección de campo para la producción de semilla certificada*.
<https://v.calameo.com/?bkcode=002993183baa7113814f5>
- International Seed Testing Association. (2022). *Reglas internacionales para análisis de semillas 2022: Introducción a las Reglas ISTA: Capítulos 1-19*.
- Ivancovich, A. (2011). *Enfermedades de soja: Diagnóstico y manejo*. INTA.
<https://hdl.handle.net/20.500.12123/15954>
- Ley n°13.664: [Semilla "certificada"]. (1968). IMPO.
<https://www.impo.com.uy/bases/leyes-originales/13664-1968>
- López, F. (2020). *Análisis de la utilidad de la prueba topográfica por tetrazolio realizada en precosecha como criterio para la selección de lotes de semilla de soja (Glycine max)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Rosario]. RepHip UNR. <http://hdl.handle.net/2133/24906>
- Mahbub, M. M., Rahman, M. M., Hossain, M. S., Nahar, L., & Shirazy, B. J. (2016). Morphophysiological variation in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 16(2), 234-238. [https://www.idosi.org/aejaes/jaes16\(2\)16/4.pdf](https://www.idosi.org/aejaes/jaes16(2)16/4.pdf)
- Manfrini, D. (2004). Aspectos a tener en cuenta: Análisis de vigor en semillas. *Revista del Plan Agropecuario*, (111), 56-58.
https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R111/R111_56.pdf

- Martínez, V., Scandiani, M., Souilla, M. & Pacios, F. (2019). *Calidad de semilla de soja en las campañas 2009 hasta 2018: Diagnóstico preliminar para la campaña 2019* [Contribución]. 1º Congreso Argentino de Semillas, Rosario, Argentina.
<https://laboratoriosalap.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/1-ALAP-Resumen-Calidad-Soja-Campaña-2009-al-2018-Preliminar-2019.pdf>
- Massaro, R. A., Arango, M. R., Craviotto, R. M., & Rullo, M. E. (2022, 5 de agosto). *Las chinches en la calidad de las semillas de soja*. Agrositio.
<https://www.agrositio.com.ar/noticia/224382-las-chinches-en-la-calidad-de-las-semillas-de-soja.html>
- Menoni, M. (2020). Marcadores SNP: Garantía de calidad de la semilla en Uruguay. En Asociación de Laboratorios Agropecuarios Privados (Ed.), *1er Congreso Argentino de Semillas: “Germinando nuevas ideas”* (p. 92).
https://laboratoriosalap.com.ar/wp-content/uploads/2021/04/1o-Congreso-Argentino-De-Semillas_4.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2018). *Anuario estadístico agropecuario 2018*. MGAP.
https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2018/Anuario_2018.pdf
- Pérez-Bernal, M., Lorenzo, D., & Delgado, M. (2013). Viabilidad de semillas de arroz provenientes de plantas obtenidas in vitro. *Acta Agronómica*, 62(2), 114-119.
<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n2/v62n2a04.pdf>
- Rava, C., & Souto, G. (2014). Caracterización del mercado de semillas en Uruguay ante cambios normativos recientes. En *Anuario OPYPA 2014* (pp. 509-526). MGAP.
<http://www2.mgap.gub.uy/OpypaPublicaciones/ANUARIOS/Anuario2014/pdf/estudios/E%20-%20Rava%20Souto%20-%20Caracterización%20del%20mercado%20de%20semillas%20en%20Uruguay%20ante%20cambios%20normativos%20recie.pdf>
- Rochón, F. (2021). *Calidad fisiológica de semillas de canola (Brassica napus L.) y su relación con el comportamiento del cultivo a campo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/39888>

- Rossi, C., & González, S. (2006). Problemas en la calidad de semillas de soja. *Revista INIA*, (9), 34-36.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/861/1/111219220807170624.pdf>
- Salinas, A. R., Gallo, C., & Rosbaco, I. (2008). Semillas de soja de calidad: Un objetivo por alcanzar. *Revista Científica Agropecuaria*, 12(2), 85-99.
- Salinas, A. R., Yoldjian, A. M., Craviotto, R. M., & Bisaro, V. (2001). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Prequisa Agropecuaria Brasileira*, 36(2), 371-379.
<https://www.scielo.br/j/pab/a/YPkXVKw9MbRZDgbhyJ5T7NK/?format=pdf&lang=es>
- Simões, J. (2021, 18 de marzo). *Una técnica basada en la inteligencia artificial permite automatizar el análisis de las semillas*. Agencia FAPESP.
<https://agencia.fapesp.br/una-tecnica-basada-en-la-inteligencia-artificial-permite-automatizar-el-analisis-de-las-semillas/35425/>
- Sorhouet, P., & Souza, F. (2019). *Damping off causada por fusarium en soja: Efecto de la especie y su control* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29587>
- Stewart, S., Rodríguez, M., & González, S. (Eds.). (2023). *Diagnóstico, manejo y control de enfermedades en soja: 15 años de investigación en Uruguay*. INIA.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/st-265-2023.pdf>
- Tortero, A. (2021). *Efecto de la aplicación de fungicidas y momento de cosecha en la producción de semilla de soja de calidad* [Trabajo final de grado]. Universidad de la Empresa.
- Tortero, A., González, S., Rossi, C., & Stewart, S. (2021). Incidencia de hongos en la calidad de las semillas de soja: Efecto de la aplicación foliar de fungicidas y su relación con la época de cosecha. *Revista INIA*, (64), 78-82.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Revista-INIA-64-Marzo-2021.pdf>

Trafane, L. G., Da Mota, X., Suarez, C. I., Da Silva A. A., Géri E. M., & Madruga, L. (2017). Tratamiento de semillas de soja y su influencia sobre la calidad fisiológica a lo largo del almacenamiento. *Agrociencia (Uruguay)*, 21(1), 58-69. <https://doi.org/10.31285/AGRO.21.1.7>