



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Evaluación del poder germinativo de semilla de Ryegrass (*Lolium perenne*) por medio de rangos de conductividad eléctrica utilizando el equipo SAD 9000-S

Soria Saltos, Carolina Sofía

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga

Segovia Salcedo, María Claudia PhD.

Sangolquí, 01 de marzo del 2024



SORIA_PROYECTO DE TITULACION_cor...

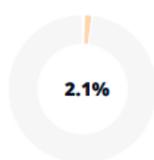
Scan details

Scan time:
March 4th, 2024 at 4:35 UTC

Total Pages:
39

Total Words:
9728

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.4%	38
Minor Changes	0%	1
Paraphrased	1.7%	167
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (5)

Poder germinativo: ¿Qué es y cómo se calcula? - BiotestLab 0.7%

<https://biotestlab.com.ar/poder-germinativo-que-es-y-como-se-calcula/>

...

180_2775.pdf 0.6%

https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/180_2775.pdf

64 Recursos Naturales Calidad de semilla: qué implica y cómo determinarla Ing. Agr. Teresita Farrás Asesora Técnica Sector Físico-Fisiol...

Rangos de conductividad eléctrica para el análisis del poder germinativo ... 0.5%

<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/4d373677-b91e-4dbf-93a9-3f6805c28ae0>

Español English Iniciar sesiónCorreo electrónicoContraseña Iniciar sesión ¿Nuevo Usuario? Registrarse¿Has olvidado tu contr...

ISPM-38-Training-Manual-ES-vf_Final-Formatted.pdf 0.1%

https://worldseed.org/wp-content/uploads/2017/10/ispm-38-training-manual-es-vf_final-formatted.pdf

Jennifer Clowes

NIMF 38 sobre el Movimiento internacional de semillas 21 DE MAYO DE 2017 MANUAL DE CAPACITACIÓN PREPARADO POR LA Federación Internacional...





Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular, “**Evaluación del poder germinativo de semilla de Ryegrass (*Lolium perenne*) por medio de rangos de conductividad eléctrica utilizando el equipo SAD 9000-S**” fue realizado por la señorita **Soria Saltos, Carolina Sofía**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 01 de marzo de 2024

.....
Segovia Salcedo, María Claudia PhD.

C. C: 1709055998



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Soria Saltos, Carolina Sofia**, con cédula de ciudadanía n° 1312234550, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Evaluación del poder germinativo de semilla de Ryegrass (*Lolium perenne*) por medio de rangos de conductividad eléctrica utilizando el equipo SAD 9000-S"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 01 de marzo de 2024

Soria Saltos, Carolina Sofia

C.C.: 1312234550



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Autorización de publicación

Yo, Soria Saltos, Carolina Sofía, con cédula de ciudadanía n° 1312234550, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: Título: "Evaluación del poder germinativo de semilla de Ryegrass (*Lolium perenne*) por medio de rangos de conductividad eléctrica utilizando el equipo SAD 9000-S" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 01 de marzo de 2024


.....
Soria Saltos, Carolina Sofía

C.C.: 1312234550

Dedicatoria

A mis queridos padres, hermanas y hermano, les dedico este logro, por ser el motor y el apoyo incondicional que ha impulsado tanto mi crecimiento personal como académico. Su presencia fue como un faro que iluminó los días oscuros y difíciles, marcando la diferencia en mi camino.

A aquellos familiares y amigos que estuvieron a mi lado en los momentos en que más necesitaba un consejo o simplemente la compañía de seres queridos, les agradezco sinceramente.

A Dios, mi eterna gratitud por ser la luz guía que me condujo hacia personas maravillosas que hicieron este recorrido más fácil. En cada encuentro, he sentido tu presencia, proporcionándome fuerza y dirección.

A ti, que siempre creíste en ti misma y demostraste ser capaz de superar cualquier desafío. Celebramos juntas tu valentía e independencia, y aplaudimos cada vez que te levantaste incluso cuando pensaste que no había remedio.

Agradecimientos

Querida mamá, tu amor incondicional ha sido mi mayor fortaleza. Agradezco profundamente tus lecciones y la importancia de no considerar ningún esfuerzo como sacrificio. Eres mi inspiración principal, y agradezco infinitamente por sostenerme en los momentos más difíciles. Tu compañía a lo largo de toda mi vida ha sido un regalo invaluable.

A papá, Lalita y mis hermanos, les agradezco por estar a mi lado en cada paso de este viaje. Su apoyo incondicional, y el orgullo y admiración que han expresado en cada logro, han sido un motor para alcanzar mis metas.

A mis amigos y sobrinos, mi gratitud por compartir conmigo momentos que guardaré por siempre en mi corazón. Han convertido los días de mayor estrés en experiencias divertidas y valiosas. Su amistad ha sido un tesoro que ha iluminado mi camino.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, agradezco a sus destacados maestros por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi carrera profesional. Y a mi tutora María Claudia Segovia PhD. por el tiempo y la guía proporcionada durante todo el proceso.

A Agrocalidad, Laboratorio de Semillas, al Ing. Diego Arias e Ing. Francisco Garrido, les expreso mi agradecimiento por su apoyo y orientación durante la realización de mi investigación. Han convertido los días dedicados a la tesis en momentos enriquecedores y estimulantes.

Este logro no solo es mío, sino también de quienes me rodean, de aquellos que creyeron en mí y compartieron este viaje. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Sofía Soria Saltos

Índice de Contenidos

Resultados de la herramienta para análisis de similitud de contenidos.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Resumen.....	14
Abstract.....	15
Capítulo I: Introducción.....	16
Formulación del problema.....	16
Justificación del problema.....	17
Objetivo del proyecto	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos.....	19
Hipótesis.....	19
Capítulo II: Marco Teórico.....	20
Generalidades de las gramíneas	20
Ryegrass	21
Semilla.....	23
Semilla de calidad.....	24
Calidad genética	25

Calidad física	25
Calidad fitosanitaria	25
Calidad fisiológica	25
Asociación Internacional de Análisis de semillas (ISTA).....	26
Germinación	27
Imbibición	27
Activación metabólica o geminación <i>sensu stricto</i>	27
Fase de crecimiento de la radícula	27
Tipos de germinación.....	28
Germinación epigea.....	29
Germinación hipogea.....	29
Factores internos que afectan la germinación.....	30
Madurez de las semillas.....	30
Viabilidad de las semillas	30
Dormancia	30
Factores externos que afectan la germinación.....	31
Humedad	31
Gases	32
Iluminación	32
Análisis de semillas.....	33
MiniLab SAD 9000-S	33

Prueba de conductividad eléctrica	34
Capítulo III: Materiales y Métodos	35
Ubicación del sitio experimental.....	35
Metodología.....	35
Semillas de Ryegrass	35
Prueba de germinación estándar en Ryegrass	35
Rangos de conductividad eléctrica (equipo SAD 9000-S).....	35
Diseño de la investigación	36
Factores en estudio	36
Porcentaje de poder germinativo	36
Semillas de Ryegrass	37
Unidad experimental	37
Metodología (m ₁): Tradicional ISTA 2013	37
Metodología (m ₂): Equipo SAD 9000-S.....	37
Tipo de diseño	38
Modelo estadístico.....	38
Coeficiente de variación.....	39
Análisis funcional	39
Correlación de Pearson	39
Medidas de tendencia central	39
Variables evaluadas.....	39

Porcentaje de poder germinativo	39
Porcentaje de poder germinativo en el equipo SAD 9000-S.....	40
Capítulo IV: Resultados	42
Metodología tradicional (ISTA 2013)	42
Porcentaje de poder germinativo	42
Metodología Equipo SAD 9000-S (Analizador automático de semillas).....	44
Porcentaje de poder germinativo	44
Valor de corte óptimo o superior (μScm^{-1}).....	45
Valor de corte inferior (μScm^{-1})	46
Conductividad eléctrica (μScm^{-1})	47
Correlación entre Poder germinativo del método Tradicional (ISTA, 2013) y Equipo SAD 9000-S	48
Capítulo V: Discusión	54
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones.....	59
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Capítulo VII: Bibliografía.....	61
Apéndice	69

Índice de tablas

Tabla 1. Principales mezclas forrajeras de la sierra	20
Tabla 2. Clasificación taxonómica de <i>Lolium</i>	21
Tabla 3. Características generales del Ryegrass	23
Tabla 4. Lotes utilizados para analizar el poder germinativo en las dos metodologías	37
Tabla 5. ANOVA para el diseño factorial a x b.....	38
Tabla 6. Cuadrados medios para la variable poder germinativo: plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar de Ryegrass a 16 días después de la siembra.	42
Tabla 7. Análisis de varianza y comparación múltiples de Duncan para porcentaje de plántulas normales de Ryegrass	43
Tabla 8. Análisis de varianza para poder germinativo de semillas de Ryegrass utilizando el equipo SAD 9000-S	44
Tabla 9. Comparación de medias Duncan para el poder germinativo de las semillas de Ryegrass obtenido en el Equipo SAD 9000-S.....	45
Tabla 10. Análisis de varianza para la variable conductividad eléctrica en 20 lotes de Ryegrass durante un periodo de imbibición de 24 horas.....	47
Tabla 11. Intervalos de confianza al 95% para la media poblacional del poder germinativo según método	49
Tabla 12. Intervalos de confianza al 95% para la media poblacional del poder germinativo según el lote	49
Tabla 13. Análisis de varianza del poder germinativo de semillas según método y lote	50
Tabla 14. Comparación de medias de poder germinativo para la interacción método y lote mediante Duncan.....	52

Índice de figuras

Figura 1. Características del Ryegrass perenne.....	22
Figura 2. Características de la semilla de Ryegrass	24
Figura 3. Etapas de la germinación	28
Figura 4. Representación de los tipos de germinación	29
Figura 5. Valores de corte superior para la especie <i>Lolium perenne</i>	46
Figura 6. Valores de corte inferior para la especie <i>Lolium perenne</i>	46
Figura 7. Comparación de conductividad eléctrica vs poder germinativo de los lotes de semillas de Ryegrass.....	48
Figura 8. Comportamiento del poder germinativo por lote según el método tradicional vs Equipos SAD 9000-S	51
Figura 9. Diagrama de Caja y Bigotes del poder germinativo en función del método empleado	53

Resumen

La prueba de conductividad eléctrica de semillas es una valiosa herramienta para evaluar su poder germinativo en distintas especies vegetales. El objetivo de este estudio fue establecer rangos de conductividad eléctrica en semillas de Ryegrass mediante el equipo SAD 9000-S, para determinar su calidad fisiológica a través del poder germinativo en 24 horas. Se utilizó un diseño factorial con 4 repeticiones de 50 semillas por accesión para las variables de poder germinativo y conductividad. Con los datos de poder germinativo de laboratorio se calibró el Equipo SAD 9000-S. Los mayores poderes germinativos promedio correspondieron a los lotes 18 y 19 (99%), seguidos de cerca por 7 lotes adicionales. Se estableció el valor de cota superior de conductividad en $20 \mu\text{Scm}^{-1}$, indicando condiciones fisiológicas saludables. Las dos metodologías evaluadas mostraron una alta correlación ($\rho=0.98$), evidenciando la confiabilidad de los rangos de conductividad eléctrica determinados con el equipo SAD 9000-S para predecir el poder germinativo en esta especie. Los resultados indican que esta técnica representa un método confiable y preciso para la determinación rápida y eficiente del poder germinativo en semillas de Ryegrass, entregando resultados consistentes con el método tradicional ISTA. Su implementación como prueba de control de calidad rutinaria permitiría agilizar el proceso, reducir costos y evaluar grandes cantidades de muestra de forma automatizada.

Palabras clave: Semillas, Ryegrass (*Lolium perenne*), Equipo SAD 9000-S, porcentaje de germinación, conductividad eléctrica.

Abstract

The electrical conductivity test of seeds is a valuable tool for assessing their germination potential in different plant species. The objective of this study was to establish ranges of electrical conductivity in Ryegrass seeds using the SAD 9000-S equipment to determine their physiological quality through germination potential within 24 hours. A factorial design with 4 replications of 50 seeds per accession was employed for the variables of germination potential and conductivity. The SAD 9000-S equipment was calibrated with laboratory germination potential data. The highest average germination potentials were observed in lots 18 and 19 (99%), closely followed by 7 additional lots. The upper limit value of conductivity was established at $20 \mu\text{Scm}^{-1}$, indicating healthy physiological conditions. The two evaluated methodologies showed a high correlation ($\rho=0.98$), demonstrating the reliability of the electrical conductivity ranges determined with the SAD 9000-S equipment to predict germination potential in this species. The results indicate that this technique represents a reliable and accurate method for the rapid and efficient determination of germination potential in Ryegrass seeds, providing consistent results with the traditional ISTA method. Its implementation as a routine quality control test would streamline the process, reduce costs, and allow for the evaluation of large sample quantities in an automated manner.

Key words: Seeds, Ryegrass (*Lolium perenne*), SAD 9000-S equipment, germination percentage, electrical conductivity.

Capítulo I: Introducción

Formulación del problema

La cría de animales en los campos de pastoreo desempeña un papel crucial en el progreso económico y social al satisfacer las necesidades alimentarias de la población a través de productos como carne y leche (FAO , 2021). A pesar de su significativa contribución al Producto Interno Bruto (PIB), este sector enfrenta dificultades para mantener un crecimiento constante y sostenible debido a la insuficiente y deficiente alimentación proporcionada a los bovinos (León, Bonifaz, & Gutierrez, 2018).

Según Investigaciones Forestales Agrícolas Y Pecuarias (2023) la calidad de las semillas utilizadas en la siembra de pastos impacta directamente en la productividad y salud de los bovinos. Las semillas de baja calidad pueden producir pastos deficientes, y, por lo tanto, afectan la salud de los animales que los consumen.

La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (INEC, 2020) indica que la superficie con labor agropecuaria fue más de cinco millones de hectáreas (5 204 662) y dentro de esta superficie, los pastos cultivados representan el 39,73%. Durante el año 2020 el número de bovinos presentó un crecimiento del 2%, con la mayor concentración en la sierra.

En la actualidad, Ecuador enfrenta un déficit en la disponibilidad de semillas de especies forrajeras, tanto de gramíneas como de leguminosas, según lo indicado por Ramos (2021). Para suplir esta carencia, el país recurre a la importación de grandes cantidades de semillas, lo que implica una significativa salida de divisas. Sin embargo, esta solución presenta un inconveniente adicional: las semillas importadas frecuentemente no cuentan con un proceso de adaptación apropiado a las condiciones agroecológicas específicas del territorio ecuatoriano. Freires (1993) ya había señalado que esta situación representa un riesgo considerable para los productores agrícolas del país.

El Raigrás es una gramínea forrajera de alto valor nutritivo, que se adapta bien a las condiciones agroecológicas del Ecuador (Balocchi & Lopez, 2009). La evaluación precisa de las

semillas de Ryegrass permite determinar su capacidad para adaptarse a las condiciones específicas del entorno local, incluyendo suelos, clima y altitud (León et al., 2018). Esta adaptación es crucial para garantizar el óptimo crecimiento de los pastizales y el suministro continuo de forraje de calidad para el ganado. Sin embargo, no existen estudios que determinen los rangos de conductividad eléctrica (CE) que permiten evaluar el poder germinativo de esta especie.

Justificación del problema

En la ganadería es fundamental implementar mejoras en los cultivos y proporcionar a los agricultores semillas y materiales de siembra de alta calidad, especialmente seleccionados, con el objetivo de asegurar una producción agrícola más eficiente y hacer frente a los crecientes desafíos medioambientales (FAO, 2020).

En numerosos países en vías de desarrollo, los productores agrícolas enfrentan dificultades para acceder a los beneficios derivados del uso de semillas de alta calidad. Esto se debe a diversos factores, entre los que se incluyen una producción de semillas poco eficiente, sistemas de distribución y control de calidad deficientes, así como la ausencia de políticas y regulaciones adecuadas (TODO AGRO, 2023). Ecuador, por su parte, cuenta con condiciones ambientales favorables para el cultivo de pastos a lo largo de todo el año. A diferencia de otras regiones del mundo que enfrentan inviernos rigurosos o sequías extremas, lo que obliga al confinamiento del ganado, Ecuador posee una ventaja comparativa en la producción de pastos, ya que puede realizarla con costos más bajos en comparación con otros países (León et al., 2018).

La alimentación de los animales herbívoros debe basarse principalmente en pastizales y forrajes, ya que constituyen la fuente de alimento más esencial y económicamente viable. La combinación de gramíneas y leguminosas en los pastizales proporciona una dieta completa y equilibrada para el ganado (Vélez, 2019).

Una de las especies forrajeras más importantes en las mezclas empleadas para la instauración o renovación de pastizales dedicados a la nutrición de bovinos, tanto de leche como de carne, es el Ryegrass (*Lolium sp.*), tal como lo señala Vélez (2019). Esta gramínea se distingue por su elevado aporte proteico y su notable capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales. Asimismo, ciertas variedades de Ryegrass han demostrado una tolerancia destacable a los períodos de escasez hídrica que pueden presentarse durante la estación estival (Calderón, 2020).

La evaluación precisa de las semillas de Ryegrass es un aspecto crucial para fomentar prácticas agrícolas sostenibles. Permite seleccionar variedades de pasto adaptadas a las condiciones climáticas específicas y que requieren una menor cantidad de insumos. Asimismo, brinda información valiosa a los agricultores para tomar decisiones informadas sobre la selección de semillas, el manejo del cultivo y la planificación de la producción (Calderón, 2020). Esto tiene un impacto directo en la producción de carne y leche, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico del país.

La falta de una metodología estandarizada para evaluar el poder germinativo de las semillas de Ryegrass en Ecuador representa una limitación para el sector ganadero, ya que puede ocasionar una disminución en el rendimiento de este importante cultivo forrajero. Ello repercute negativamente en los niveles de producción de leche y carne. La presente investigación plantea desarrollar y proponer una metodología fundamentada en la conductividad eléctrica para determinar la viabilidad de semillas de Ryegrass. La conductividad eléctrica es una propiedad física de las semillas que se correlaciona con el poder germinativo (Harshitha, 2023). La metodología propuesta utilizará un dispositivo electrónico para medir la conductividad eléctrica de las semillas. Este dispositivo será fácil de usar y precisa, reproducible y accesible para los productores, permitiendo mejorar los parámetros de siembra y, por ende, la productividad de los cultivos.

Objetivo del proyecto

Objetivo general

Evaluar el poder germinativo de semilla de Ryegrass (*Lolium perenne*) por medio de rangos de conductividad eléctrica utilizando el equipo SAD 9000-S.

Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de poder germinativo en semillas de Ryegrass (*Lolium perenne*) mediante la metodología de referencia ISTA (2013).
- Determinar el valor de la cota óptima para el equipo SAD 9000-S en semillas de Ryegrass (*Lolium perenne*).
- Comparar el método tradicional (ISTA 2013) con el método del equipo SAD 9000-S para validar los rangos de conductividad eléctrica.

Hipótesis

Los porcentajes del poder germinativo obtenidos mediante la metodología de referencia ISTA indican que no existe diferencia significativa al comparar los porcentajes de poder germinativos obtenidos en el equipo SAD 9000-S.

Capítulo II: Marco Teórico

Generalidades de las gramíneas

Los pastizales pertenecen a la familia de las gramíneas (*Poaceae*). Con cerca de 11.000 especies en más de 650 géneros, es una de las familias más grandes de plantas de flores (Almusaed, 2017).

Las gramíneas constituyen plantas herbáceas que pueden comportarse como anuales o perennes. Presentan hojas alargadas que nacen de forma alterna y abrazan al tallo mediante una estructura envolvente denominada vaina foliar. La disposición escalonada de las vainas confiere los característicos nudos visibles en el tallo. Poseen un sistema radical relativamente poco profundo, formado por raíces delgadas y fibrosas. El tallo es hueco, tomando el nombre de caña o paja, exhibiendo un contorno cilíndrico y sólido. La inflorescencia típica es una espiga, donde se alojan las flores fértiles rodeadas por glumas (Encyclopaedia Britannica, 2023). Son importantes porque proporcionan alimentos, ya sea directamente o a través de animales.

En el Ecuador, las semillas de algunas especies de pastos no se adaptan debido a que la mayoría de ellas provienen de países con cuatro estaciones (Vélez, 2019). Por tal motivo, se usan gramíneas junto con otras especies forrajeras para asegurar la alimentación del ganado a través de mezclas que contienen alto valor nutritivo para obtener mejor producción de leche/vaca (INIAP, 2011). En la tabla 1 se muestra las opciones de mezclas forrajeras recomendadas para la sierra ecuatoriana.

Tabla 1

Principales mezclas forrajeras de la sierra

Clima	Suelo	Pasto	Kg de semilla / ha
Templado-frío y páramo andino, con	Fértiles	Raigrás perenne	20
		Trébol blanco	3

suficiente humedad y/o riego		Llantén	1
		Achicoria	1
Templado-frío y páramo, con estación seca y poco riego.	Ácidos	Raigrás perenne	12
		Pasto azul	6
		Trébol blanco	2
		Trébol rojo	6
		Llantén	1
		Achicoria	1
Templado-frío, con estación seca y poco riego	Bien drenados, pH 6,5-7	Alfalfa	12
		Pasto azul	6
		Llantén	1

Nota. Recuperado de León et al. (2018).

Como se observa en la tabla 1, *Lolium sp.*, es la especie de mayor importancia en los sistemas de pastoreo, con un excelente potencial que puede llegar a producir hasta 30 toneladas de materia seca por hectárea y rindiendo hasta 10.000 litros de leche/año (Demagnet, 2013).

Ryegrass

El Ryegrass, llamada también césped inglés, es una gramínea, perteneciente al género *Lolium*, donde se destacan tres especies: Ryegrass perenne (*Lolium perenne*), Ryegrass anual (*Lolium multiflorum*) y la combinación de ambas el Ryegrass híbrido (Castillo, 2015). La clasificación taxonómica del Ryegrass se muestra en la tabla 2:

Tabla 2

Clasificación taxonómica de Lolium

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales

Familia	Poaceae
Subfamilia	Pooideae
Tribu	Poeae
Subtribu	Loliinae
Género	<i>Lolium</i>

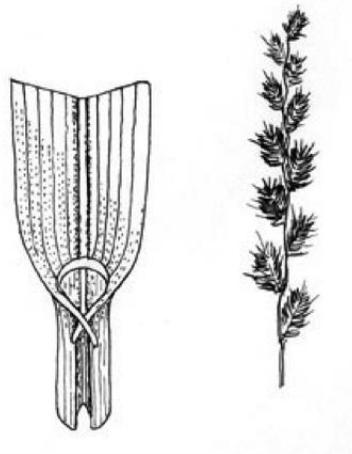
Nota. Información obtenida de Duarte et al., (1985)

El Ryegrass se distinguen por su elevada producción de semillas y su valor nutritivo significativo para los animales, tanto en términos de pastoreo en verde como para la producción de ensilados o henificados (FEDNA, 2016). Este forraje se caracteriza por su alto contenido nutricional, con niveles de proteína cruda que oscilan entre el 15 y el 18 %, una digestibilidad que varía del 70 al 80 %, y un aporte energético de aproximadamente 2.96 megacalorías de energía metabolizable (Castillo, 2015).

Esta especie se caracteriza por su crecimiento erecto e inflorescencia en espiga solitaria como se observa en la Figura 1. Se utiliza como alimentación para vacas lecheras muy productiva. Se caracteriza por su rápida germinación (Team F.E.N., 2011). En la tabla 3 se muestran las características generales del Ryegrass.

Figura 1

Características del Ryegrass perenne



Nota. Características de Ryegrass perenne según Team, F. E. N. (2011)

Tabla 3*Características generales del Ryegrass*

Hábito y forma de vida	Planta herbácea anual, bianual o perenne
Tamaño	Hasta 1.3 m
Tallo	Erecto
Hojas	Vainas con prominentes aurículas en la parte superior, las lígulas que miden entre 1 y 4 mm de longitud. Las láminas foliares presentan una textura lisa en la superficie inferior y un aspecto opaco y rugoso en la cara superior
Espiguilla/flores	Se disponen de manera alterna, glumas de 5 a 10 mm de largo. Las glumas presentan una nervadura de 5 a 7 venas y miden de 5 a 10 mm de largo. Es notable la ausencia de la gluma inferior, mientras que la segunda gluma se encuentra en posición opuesta al ráquis y su tamaño no supera la mitad de la longitud total de la espiguilla
Frutos y semillas	Semilla de \pm 4 mm de largo

Nota. Información obtenida de Yáñez (2020)

Semilla

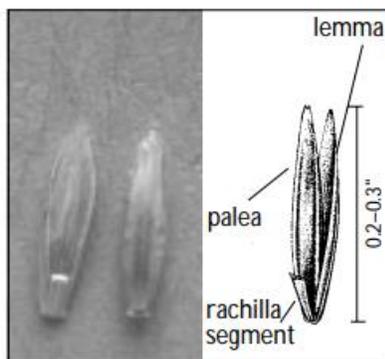
La semilla desempeña un rol fundamental como estructura reproductiva. Su importancia radica en múltiples aspectos, tales como la perpetuación y propagación de las comunidades

vegetales, la regeneración de los ecosistemas boscosos y la progresión de los procesos ecológicos sucesionales. La semilla constituye, por lo tanto, un elemento clave en la dinámica y supervivencia de las poblaciones de plantas a lo largo del tiempo y del espacio (Doria, 2013).

La semilla del Ryegrass es delgada y estrecha. Tiene una textura suave, a veces parecida al papel, brillante. Mide 5 mm de longitud (Hannaway et al., 1999). Se encuentran entre dos brácteas, lema o glumilla inferior y palea o glumilla superior como se puede apreciar en la Figura 2. Tienen un alto contenido de humedad, por lo que es importante almacenarlas en condiciones secas y frescas. El contenido de humedad ideal para las semillas de Ryegrass es del 10-12% (Pazmiño, 2019).

Figura 2

Características de la semilla de Ryegrass



Nota. Semilla de Ryegrass según Hannaway et al. (1999)

Semilla de calidad

El concepto de semilla de calidad se refiere al cumplimiento de las especificaciones de ciertas normas, entre las que se incluyen la pureza genética, la capacidad de germinación, el vigor y la ausencia de enfermedades. Los productores registrados están obligados a seguir normas estrictas durante el proceso de cultivo para garantizar que las semillas producidas alcancen los estándares de calidad requeridos para su registro. Este enfoque no solo asegura un alto potencial de rendimiento, sino también una mejor adaptabilidad a las condiciones ambientales y la presencia de características deseables tanto para los agricultores como para

los consumidores (FAO & AfricaSeeds, 2019). Al analizar la calidad de las semillas, se pueden identificar cuatro atributos esenciales:

Calidad genética

Uno de los métodos para conservar las distintas variedades de cultivos agrícolas es mediante el empleo de semillas que mantienen una composición genética íntegra. Esto se consigue al utilizar semillas cuya información hereditaria no se ha visto alterada, lo que permite preservar las características distintivas de cada variedad vegetal. Este enfoque permite mantener la estabilidad del genotipo a lo largo de las generaciones, evitando así la degeneración de las semillas y garantizando la conservación de sus características originales (Farrás, 2018).

Calidad física

Influenciada por la existencia o ausencia de cualquier elemento indeseado aparte de la semilla deseada, esta condición abarca diversos contaminantes, tales como materiales inertes, malezas o semillas de otras especies (Farrás, 2018).

Calidad fitosanitaria

Está determinada por la existencia o inexistencia de microorganismos patógenos, tales como hongos, bacterias, nematodos y virus, que pueden ser responsables del desarrollo de enfermedades en las plantas. (Farrás, 2018).

Calidad fisiológica

El potencial de una semilla para germinar, brotar y desarrollarse en plantas uniformes y robustas está estrechamente relacionado con el momento en que alcanza su madurez fisiológica, punto en el cual exhibe su máxima viabilidad. Sin embargo, a partir de este hito, la semilla inicia un proceso de envejecimiento y pérdida de vigor, influenciado por las condiciones ambientales a las que está expuesta, las cuales no siempre son favorables. A pesar de que su actividad metabólica se reduce, la semilla sigue respirando y consumiendo energía para

mantener sus funciones esenciales. Por lo tanto, es de vital importancia almacenarla en condiciones de baja humedad y temperatura controlado (Farrás, 2018).

Vigor

La Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA por sus siglas en inglés) define el vigor de la semilla como el conjunto de atributos que determinan el nivel de actividad fisiológica y el potencial de desempeño que exhibe una semilla o lote durante la germinación y el desarrollo de las plántulas (ISTA, 1995). La pérdida de vigor en un lote de semillas indica una disminución en la capacidad de realizar las funciones fisiológicas necesarias para su desarrollo óptimo.

Poder germinativo

Se evalúa a través de la proporción de semillas que logran desarrollarse en plántulas normales dentro de un período de tiempo determinado.

Para realizar este proceso se utiliza una caja Petri en la cual se pone una tarjeta germinadora de semilla, sobre esta se ponen 50 o 100 semillas de una muestra representativa; la semilla se tapa con un papel filtro, y finalmente cierra la caja. Diariamente se debe controlar que el papel esté húmedo, pero sin exceso, la temperatura ideal es 18° a 25 °C después de un periodo de tiempo, se cuentan las semillas germinadas y se calcula el porcentaje (León et al., 2018).

Asociación Internacional de Análisis de semillas (ISTA)

La Asociación Internacional de Pruebas de Semillas, conocida por sus siglas en inglés ISTA, es la entidad reconocida a nivel mundial por establecer los estándares para las pruebas de semillas comercializadas internacionalmente (Nelson & Wrigley, 2016). Su órgano de votación está integrado por representantes de 75 países miembros y cuenta con diversos comités conformados por expertos técnicos. ISTA se encarga de publicar un conjunto de normas para el muestreo y análisis de semillas, así como de fomentar la aplicación

estandarizada de estos procedimientos. Además, promueve el desarrollo de todos los aspectos relacionados con la ciencia y la tecnología de las semillas (Shillito, 2022).

Germinación

Es la etapa inicial del desarrollo de una planta, en la cual una semilla da lugar a un organismo vegetal completo que, con el tiempo, alcanzará la madurez necesaria para reproducirse (Rodríguez et al., 2008). Comprende tres etapas consecutivas que se detallan a continuación:

Imbibición

La imbibición de semillas es un proceso físico, relacionado con las propiedades coloidales de sus constituyentes y las diferencias de potencial hídrico entre la semilla y el medio externo (Cardoso, 2008). Durante el proceso de absorción de agua, las semillas experimentan una expansión, y tanto las enzimas como las reservas nutritivas se hidratan. Esta hidratación activa las enzimas, lo que conduce a un incremento en el metabolismo de la semilla, generando así la energía necesaria para el proceso de crecimiento. Además, la presencia de agua aumenta la turgencia celular, permitiendo la expansión de las células (Pita & Perez, 2001).

Activación metabólica o geminación *sensu stricto*

La fase de germinación en sentido estricto ocurre cuando la semilla ha logrado un nivel óptimo de hidratación. Esta fase se distingue por una disminución en la tasa de absorción de agua por parte de las semillas. A lo largo de este período, se produce una activación global del metabolismo de la semilla, un proceso fundamental que sienta las bases para la etapa final de la germinación: la fase de crecimiento (Pita & Perez, 2001).

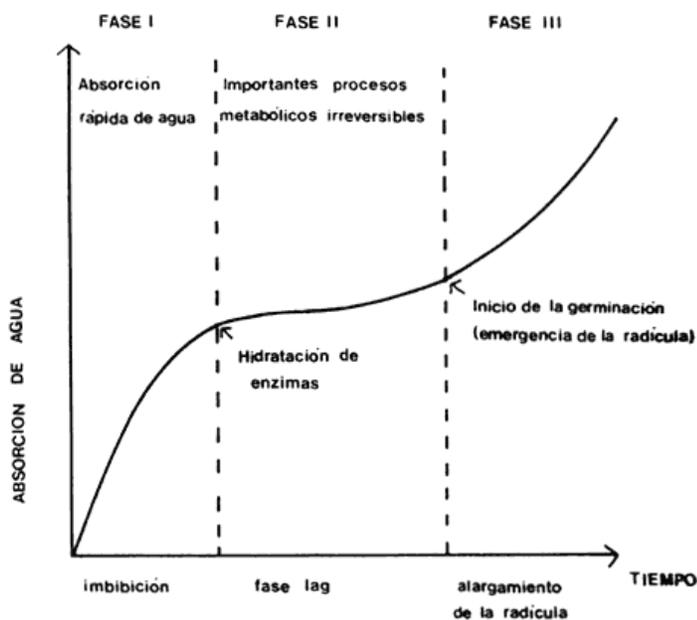
Fase de crecimiento de la radícula

La germinación comienza con la emergencia de la radícula que rompe las cubiertas de la semilla. Una vez iniciado este proceso irreversible, si las condiciones ambientales no son las

adecuadas, la semilla no sobrevivirá. Tras la protrusión de la radícula, se desarrolla la plántula, un proceso complejo y especie-dependiente que demanda gran cantidad de energía, obtenida mediante la movilización de nutrientes almacenados en la semilla. El correcto desarrollo de la plántula a partir de una semilla viable es fundamental para el establecimiento exitoso de nuevos individuos (Pita & Perez, 2001).

Figura 3

Etapas de la germinación



Nota: etapas de la germinación según Salisbury & Ross (1992)

Tipos de germinación

La radícula, el punto de crecimiento de la raíz, emerge desde la base del eje del embrión, y la plúmula, el punto de crecimiento del brote, se encuentra en el extremo superior del eje del embrión, por encima de los cotiledones. La sección del tallo de la plántula que está por encima de los cotiledones se llama epicótilo y la que está por debajo de los cotiledones se llama hipocótilo (Kumar, 2020).

Germinación epigea

Germinación en la que el hipocótilo se alarga y arrastra el cotiledón hacia afuera por encima de la superficie del suelo, donde en algunas especies se expanden, se vuelven verdes y cumplen la función como hojas (Kumar, 2020).

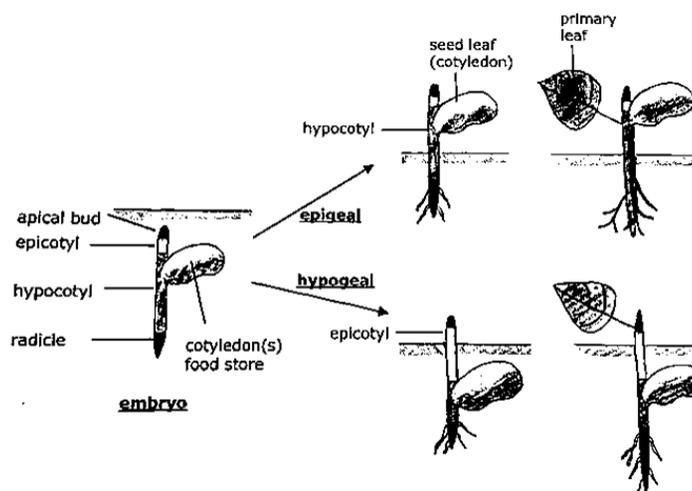
Germinación hipogea

En este tipo de germinación, el cotiledón permanece bajo suelo, mientras que el epicótilo se alarga y emerge de la tierra (ISTA, 2014). Se muestra una representación de la germinación epigea e hipógea en la figura 4.

En el caso del Ryegrass, presenta este tipo de germinación ya que, el cotiledón no emerge del suelo, sino que permanece enterrado bajo tierra, donde sigue proporcionando nutrientes a la plántula. Es así, como la plúmula emerge del suelo después de que los cotiledones hayan absorbido la mayor parte de sus nutrientes.

Figura 4

Representación de los tipos de germinación



Nota: tipos de germinación según ISTA (2014)

Factores internos que afectan la germinación

Madurez de las semillas

Una semilla alcanza su madurez cuando todas sus estructuras se han completado, y finaliza cuando el embrión se ha desarrollado en su totalidad (Doria, 2010).

A diferencia de otros cultivos, las especies forrajeras presentan un desafío particular en relación con la madurez de las semillas durante la cosecha. En estas plantas, las semillas no alcanzan la madurez de manera uniforme, que pueden observarse incluso entre semillas provenientes de la misma planta. La presencia de semillas inmaduras con alto contenido de humedad en un lote de semillas propicia el desarrollo de microorganismos de almacenamiento, cuyas actividades elevan la temperatura de las semillas almacenadas y ocasionan daños en la germinación (ISTA, 2014).

Viabilidad de las semillas

Se refiere a la capacidad que tiene una semilla para germinar y producir plántulas vigorosas. Ello involucra factores de estrés que afectan la expresión del potencial fisiológico, ya sea temperaturas ligeramente fuera del óptimo, disponibilidad hídrica disminuida, presencia de sales, entre otros factores adversos moderados. Durante el crecimiento del cultivo, problemas en el follaje como intercepción reducida de luz, alongamiento y expansión inadecuada de las hojas, también repercutirá en la calidad final de las semillas cosechadas (Alabdulla, 2019).

Dormancia

La dormancia constituye un estado de reposo metabólico que presentan las semillas viables y que suspende temporalmente su capacidad germinativa. Este fenómeno fisiológico se presenta de forma natural en la mayoría de las especies vegetales (Baskin & Baskin, 2014). El grado de dormancia está determinado por la interacción entre factores genéticos propios de cada material y las condiciones ambientales prevalecientes durante la maduración de los frutos en el cultivo madre. Así, la expresión de dormancia involucra tanto componentes hereditarios

intrínsecos de las semillas como elementos extrínsecos del entorno en su desarrollo (Finch & Leubner, 2006). Incluso cuando el embrión alcanza su completa formación morfológica, las semillas durmientes son incapaces de germinar hasta tanto no cumplan un tiempo mínimo de post-maduración bajo ciertas temperaturas y humedad que permitan superar este bloqueo fisiológico temporal de la germinación (Rajjou et al., 2012).

Las Reglas de la ISTA permiten varios tratamientos que promueven la germinación al romper la dormancia. En el caso específico del Ryegrass, antes de exponerse a la temperatura de germinación prescrita, se someten a un periodo de preenfriamiento (5 °C) durante un periodo de cinco días, sobre un sustrato húmedo: nitrato de potasio (1%) que logra estimular la vía de pentosa fosfato, la cual es importante en las etapas tempranas de la germinación.

Factores externos que afectan la germinación

Humedad

El agua es esencial para la germinación de las semillas. Para que la mayoría de las semillas germinen de forma óptima, el suelo debe encontrarse cerca de su capacidad de retención de agua (Kumar et al., 2022). La germinación puede ocurrir en suelos con baja humedad, e incluso las etapas iniciales se pueden llevar a cabo usando el agua disponible en ambientes con alta humedad relativa, aunque generalmente esas condiciones no son las mejores para una germinación completa.

En el caso del Ryegrass, es necesario que el suelo se mantenga húmedo, pero no sobresaturado, ya que puede ocasionar el ahogamiento de las semillas y retrasar la germinación. Según InfoAgro (2020) los requerimientos normales están entre 12 y 25 mm de precipitación o riego por semana.

Temperatura

La temperatura afecta a la velocidad de: absorción de agua, difusión de gases respiratorios y de las reacciones químicas involucradas en el metabolismo de la semilla (Doria, 2010). La tasa de germinación disminuye a bajas temperaturas y aumenta la velocidad de

germinación a altas temperaturas. Al alcanzar ese límite, un aumento mayor en la temperatura disminuirá o impedirá la germinación. Las altas temperaturas afectan la eficacia de las enzimas y, eventualmente, se alcanza un punto en el que las proteínas de las semillas pierden su estructura natural y la semilla muere (ISTA, 2014).

Gases

El aire normalmente contiene alrededor de un 20% de oxígeno, 0.03% de dióxido de carbono y un 80% de nitrógeno. La mayoría de las especies de plantas germinan bien en condiciones que provean esta mezcla gaseosa (Hoyos, 2020). Si se modifica la composición gaseosa, como altas concentraciones de dióxido de carbono, va a dificultar la germinación; queda evidente que para la mayoría de las especies se requiere oxígeno para germinar; y el nitrógeno no tiene influencia (Bewley & Black, 2012). Cuando las semillas se almacenan secas, su tasa de respiración es tan baja que es difícil de medir. Durante la germinación, aumenta drásticamente debido a que la respiración es esencialmente un proceso de oxidación, por lo que se debe proveer la cantidad adecuada de oxígeno (Taiz & Zeiger, 2002).

Iluminación

La presencia de luz influye en la germinación, orientación y la forma de la plántula (Bewley & Black, 2012). Las semillas muy pequeñas tienen cantidades mínimas de alimento almacenado para el crecimiento temprano del embrión, y es necesario que se vuelvan autótrofas rápidamente (Milberg et al., 2000). Cuando una semilla germina bajo la superficie del suelo, pueden agotar sus reservas almacenadas antes de alcanzar la superficie y la plúmula, puede emerger de manera doblada, resguardando su extremo delicado. Sin embargo, al ser expuesta a la luz, la plántula se endereza, conservando la curvatura solo si el brote emerge en condiciones de oscuridad (Heslop-Harrison, 2023).

Aunque no siempre sea esencial, la luz se proporciona a menudo en el laboratorio de semillas para evitar el alargamiento excesivo de las plántulas y favorecer la formación de clorofila (Saini et al., 1985).

Análisis de semillas

El análisis de semillas tiene como objetivo valorar sus atributos cualitativos con el fin de establecer su idoneidad para la plantación (Elias et al., 2012). Por lo general, se realizan inmediatamente después de la extracción y poco antes de la siembra real. También se realiza periódicamente en lotes de semillas que se mantienen en almacenamiento prolongado (Copeland & McDonald, 2001).

Durante cada conteo, las plántulas germinadas y las semillas no germinadas restantes se clasifican en cualquiera de las 3 categorías: plántulas normales, plántulas anormales, semillas muertas (Seed technology, 2014)

MiniLab SAD 9000-S

El Seed MiniLab SAD 9000-S es un equipo para análisis automatizado de calidad de semillas. Cuenta con certificación bajo normas ISO 9001:2008, que permite evaluar en pocos minutos distintos parámetros en lotes de semillas, incluyendo potencial de germinación, vigor, dureza, conductividad eléctrica y otros, lo que posibilita la toma de decisiones en términos de grandes volúmenes de muestra a través de una información técnica oportuna, confiable y objetiva (Soluciones Tecnológicas Globales Grupo Consultar, 2008).

El equipo consta de diversos módulos como cabezal de mediciones, gradillas de lixiviación, dosificador-agitador y bandeja lavadora. También incluye software especializado y controlador de cifras para procesamiento automatizado de los análisis. Entre sus ventajas se cuenta la rapidez y precisión en la estimación de parámetros de interés, convirtiéndolo en un complemento valioso a los métodos convencionales de evaluación de semillas.

Prueba de conductividad eléctrica

La prueba de conductividad eléctrica estima el grado de disfunción de la membrana celular cuantificando los electrolitos lixiviados en un volumen definido de agua destilada por parte de las semillas, sembrándolas en ésta durante un tiempo base, para finalmente medir la conductividad iónica del agua de imbibición con un conductímetro, cuyos valores son relacionados con el daño de membranas (Moncaleano et al., 2013; Fessel et al., 2010). Esta prueba es reconocida por su rapidez, bajo costo y confiabilidad para determinar deterioro fisiológico (Pompelli et al., 2023).

Capítulo III: Materiales y Métodos

Ubicación del sitio experimental

La investigación tuvo lugar en las instalaciones del laboratorio de semillas perteneciente a la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (Agrocalidad), el cual se encuentra en Tumbaco, parroquia del cantón Quito en la provincia de Pichincha. La zona presenta una elevación de 2356 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 17.5 grados Celsius

Metodología

Se realizó el análisis de la prueba de germinación estándar y el establecimiento de los valores de corte de poder germinativo: cota óptima o superior y la cota inferior en microsiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Semillas de Ryegrass

Las semillas utilizadas en la investigación corresponden a variedades comerciales. Estas accesiones se encuentran con su respectiva codificación en el Laboratorio de semillas de Agrocalidad.

Prueba de germinación estándar en Ryegrass

El procedimiento comenzó con el pesaje de cada lote de semillas de Ryegrass y la separación de una submuestra mínima de 6 gramos utilizando un homogeneizador. Posteriormente, se preparó una solución de nitrato de potasio al 1% en un vaso de precipitación, en la cual se sumergieron de inmediato las tarjetas de germinación. Las semillas se sembraron en placas de Petri y se mantuvieron en refrigeración a 5°C durante un período de 5 días. A lo largo del proceso germinativo, las placas se conservaron en el germinador de semillas de Agrocalidad por un lapso de 10 días (25°C:80% HR)

Rangos de conductividad eléctrica (equipo SAD 9000-S)

Con el objetivo de determinar los rangos de conductividad eléctrica en el equipo SAD 9000-S, se emplearon 4000 semillas, las cuales fueron sumergidas en una solución de nitrato

de potasio al 1% y mantenidas en refrigeración a 5°C por un periodo de 6 días. Después de este tiempo, se utilizó el dosificador del equipo para agregar 5 mL de agua destilada (0-3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en las bandejas lixivadoras y se colocó una semilla por celda. Posteriormente, las bandejas fueron cubiertas con plástico para prevenir la entrada de impurezas y se dejaron en reposo durante 24 horas. Tras el tiempo de imbibición, se analizaron los solutos lixivados y se establecieron los valores de corte basándose en el porcentaje de poder germinativo obtenido en la prueba de germinación estándar, siguiendo las indicaciones de la Guía de Procedimientos Biológicos del Analizador Automático de Semillas SAD 9000-S (2015).

El SAD 9000-S está equipado con un conductímetro múltiple capaz de analizar hasta 100 semillas de forma simultánea. La medición de la conductividad eléctrica (CE) se lleva a cabo introduciendo un par de electrodos de acero inoxidable. El tiempo de medición por celda es de 2 segundos, lo que permite analizar completamente 100 semillas en aproximadamente tres minutos. Además, el Analizador cuenta con un sensor de temperatura ambiente integrado que, al colocar el cabezal múltiple sobre la gradilla lixivadora, registra la temperatura ambiente y realiza el análisis de la CE de cada celda de manera secuencial (Manual de operación del Analizador Automático de Semillas SAD 9000-S, 2015).

Diseño de la investigación

Para alcanzar los objetivos de este estudio, se llevó a cabo una evaluación del porcentaje de poder germinativo empleando dos metodologías diferentes: la prueba de germinación estándar, siguiendo los lineamientos establecidos por ISTA, y el análisis mediante el uso del Analizador Automático de Semillas (SAD 9000-S). Estas evaluaciones se realizaron en un total de 20 lotes pertenecientes a la colección, los cuales se encuentran detallados en la tabla 4.

Factores en estudio

Porcentaje de poder germinativo

m_1 : Prueba de germinación estándar (metodología ISTA 2013)

m₂: Analizador Automático de Semillas (SAD 9000-S)

Semillas de Ryegrass

20 lotes (L)

Tabla 4

Accesiones utilizadas para analizar el poder germinativo en ambas metodologías

Lotes	P.G. Metodología ISTA (m₁)	P.G. Metodología SAD 9000-S (m₂)
L ₁	L ₁ m ₁	L ₁ m ₂
L ₂	L ₂ m ₁	L ₂ m ₂
L ₃	L ₃ m ₁	L ₃ m ₂
L ₄	L ₄ m ₁	L ₄ m ₂
L ₅	L ₅ m ₁	L ₅ m ₂
L ₆	L ₆ m ₁	L ₆ m ₂
L ₇	L ₇ m ₁	L ₇ m ₂
L ₈	L ₈ m ₁	L ₈ m ₂
L ₉	L ₉ m ₁	L ₉ m ₂
L ₁₀	L ₁₀ m ₁	L ₁₀ m ₂
L ₁₁	L ₁₁ m ₁	L ₁₁ m ₂
L ₁₂	L ₁₂ m ₁	L ₁₂ m ₂
L ₁₃	L ₁₃ m ₁	L ₁₃ m ₂
L ₁₄	L ₁₄ m ₁	L ₁₄ m ₂
L ₁₅	L ₁₅ m ₁	L ₁₅ m ₂
L ₁₆	L ₁₆ m ₁	L ₁₆ m ₂
L ₁₇	L ₁₇ m ₁	L ₁₇ m ₂
L ₁₈	L ₁₈ m ₁	L ₁₈ m ₂
L ₁₉	L ₁₉ m ₁	L ₁₉ m ₂
L ₂₀	L ₂₀ m ₁	L ₂₀ m ₂

Unidad experimental

Metodología (m₁): Tradicional ISTA 2013

Para determinar el poder germinativo, se utilizó una unidad experimental compuesta por 4000 semillas. Cada lote fue sometido a cuatro repeticiones, empleando 50 semillas en cada una de ellas.

Metodología (m₂): Equipo SAD 9000-S

Para determinar el poder germinativo, se utilizó una unidad experimental compuesta por 4000 semillas. Cada lote fue sometido a cuatro repeticiones, empleando 50 semillas en cada una de ellas.

Tipo de diseño

Diseño experimental factorial (DEF) con cuatro repeticiones de 50 semillas por cada accesión para las variables de poder germinativo y cuatro repeticiones de 50 semillas para conductividad eléctrica (Tabla 5).

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk};$$

Donde:

Y_{ijk} =una observación cualquiera

μ =media general

α_i =efecto debido al i -ésimo nivel del factor A

β_j =efecto del j -ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ =efecto de interacción en la combinación ij

ε_{ij} =efecto del error experimental

Tabla 5

ANOVA para el diseño factorial a x b

Fuente de variación (FV)	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F ₀	Valor-p
Efecto A	SC_A	$a - 1$	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F/F_0^A)$
Efecto B	SC_B	$b - 1$	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F/F_0^B)$
Efecto AB	SC_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F/F_0^{AB})$
Error	SC_E	$ab(n - 1)$	CM_E		
Total	SC_T	$abn - 1$			

Si el valor-p es menor que el nivel de significancia α prefijado, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el correspondiente efecto está activo o influye en la variable respuesta (Gutierrez, 2012).

Coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sqrt{CM \text{ Error experimental}}}{\bar{Y}} * 100$$

Donde:

CV =coeficiente de variación

CM Error experimental =cuadrado medio del error experimental

\bar{Y} =media aritmética de la población

Análisis funcional

Con el objetivo de identificar posibles diferencias significativas entre los porcentajes de poder germinativo obtenidos a través de las dos metodologías evaluadas, se aplicó la prueba de significación de Duncan.

Correlación de Pearson

La correlación de Pearson es una prueba estadística que mide el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas, que puede ser positiva, negativa o nula (cercana a 0). En este caso se realizó con los datos obtenidos del poder germinativo de las dos metodologías: Tradicional (ISTA, 2013) y Equipo SAD 9000-S.

Medidas de tendencia central

Se utilizó la moda para la variable el valor de cota óptima o superior.

Variables evaluadas

Porcentaje de poder germinativo

Para evaluar la capacidad de germinación de las semillas de Ryegrass en laboratorio, se realizó dos observaciones a los 5 y 10 días, en la primera observación se contabilizó las plántulas normales y contaminación por hongos, en la segunda observación se contabilizo las plántulas normales, anormales y semillas sin germinar de cada accesión y repetición, y se expresaron en porcentajes.

Plántulas normales (PN)

Para una plántula clasificarla como normal debe cumplir con las siguientes categorías: plántulas intactas con todas las estructuras desarrolladas y completas, plántulas con defectos leves en sus estructuras esenciales y plántulas con infección secundaria (ISTA, 2016). Fue expresada en porcentaje.

Plántulas anormales (PA)

Según el ISTA (2016) las plántulas anormales se clasifican en las siguientes categorías: plántulas dañadas en cualquiera de sus estructuras esenciales, plántulas deformadas y plántulas deterioradas. Fue expresada en porcentaje.

Semillas sin germinar

Semillas que no germinaron con las condiciones favorables, no desarrollaron la raíz por condiciones de dormancia o contaminación por hongos. Fue expresada en porcentaje.

Porcentaje de poder germinativo en el equipo SAD 9000-S***Valor de cota óptima o superior (μScm^{-1})***

La determinación de este valor se llevó a cabo mediante la sumatoria de las repeticiones de cada valor de corte superior, obtenidos al calibrar el equipo utilizando los porcentajes de poder germinativo resultantes de la prueba de germinación estándar. De esta manera, se pudo establecer la frecuencia de predicción.

Valor de cota inferior (μScm^{-1})

La determinación de este valor se llevó a cabo mediante la sumatoria de las repeticiones de cada valor de corte inferior, obtenidos al calibrar el equipo utilizando los porcentajes de poder germinativo resultantes de la prueba de germinación estándar. De esta manera, se pudo establecer la frecuencia de predicción.

Conductividad eléctrica (μScm^{-1})

El análisis de los solutos lixiviados de cada una de las semillas se realizó transcurrido 24 horas, que es el tiempo de imbibición con el equipo SAD 9000-S y se expresó en microsiemens (μScm^{-1}).

Capítulo IV: Resultados

Metodología tradicional (ISTA 2013)

Porcentaje de poder germinativo

En el análisis de varianza realizado para la variable poder germinativo (P.G), se consideraron tres variables de respuesta: el porcentaje de plántulas que presentaron un desarrollo normal, el porcentaje de plántulas con características anormales y el porcentaje de semillas que no lograron germinar (ver Anexo 4). Se compararon los 20 lotes como tratamiento (Tabla 6). En la variable de plántulas normales existe diferencia significativa entre lotes ($p < 0.01$), y el coeficiente de variación es bajo (2.75%). Para la variable porcentaje de semillas sin germinar, se encontró una diferencia altamente significativa, con coeficiente de variación alto (69.55%). Por último, en cuanto a las plántulas anormales no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Los promedios del porcentaje de plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar fueron 96.37%, 1.46% y 2.16%, respectivamente.

Tabla 6

Cuadrados medios para la variable poder germinativo: plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar de Ryegrass a 16 días después de la siembra.

FV	gl	Plántulas normales (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas sin germinar (%)
Lote	19	280.10**	4.14	132.70**
Error Exp.	60	48.00	45.00	48.00
Promedio		96.37	1.46	2.16
CV %		2.75	69.55	84.23

**Muy significativo *Significativo No significativo ns

De acuerdo con el análisis de varianza y la comparación de medias para la variable porcentaje de plántulas normales mediante la prueba Duncan, tabla 7, y el diagrama de caja y bigotes (Anexo 8) se detectó que existe una diferencia significativa ($p < 0.0001$) entre los 20 lotes en cuanto al porcentaje de plántulas normales. El lote dieciocho (L_{18}) presenta el mayor porcentaje promedio de plántulas normales (99.25%), siendo estadísticamente igual al lote

diecinueve (L₁₉). Estos dos lotes forman el grupo con las medias más altas. El lote 5 (L₅) presenta el menor porcentaje promedio de plántulas normales (89.5%), siendo estadísticamente diferente a todos los demás lotes. Forma el grupo con la media más baja. La mayoría de los lotes (13 lotes) se agrupan en un amplio grupo intermedio con medias entre 95.25% y 98.75%. No presentan diferencias estadísticas entre ellos. El coeficiente de variación es bajo (0.72%).

Tabla 7

Análisis de varianza y comparación múltiples de Duncan para porcentaje de plántulas normales de Ryegrass.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Plántulas normales	80	0.95	0.93	0.72

FV	gl	SC	CM	F	p-valor
Modelo	19	532.25	28.01	58.98	<0.0001
Lote	19	532.25	28.01	58.98	<0.0001
Error Exp.	60	28.50	0.48		
Total	79	560.75			

Lote	Poder germinativo Método Tradicional (%)	
Lote 05	89.50	A
Lote 04	92.00	B
Lote 20	93.00	C
Lote 09	93.25	C
Lote 12	95.25	D
Lote 02	95.50	D
Lote 03	95.75	D E
Lote 16	96.00	D E
Lote 01	96.75	E F
Lote 07	97.25	F G H
Lote 14	97.50	F G H
Lote 15	97.50	F G H I
Lote 06	97.75	G H I
Lote 17	98.00	G H I
Lote 08	98.00	H I J
Lote 10	98.50	H I J
Lote 11	98.75	I J
Lote 13	98.75	I J

Lote	Poder germinativo Método Tradicional (%)	
Lote 19	99.25	J
Lote 18	99.25	J

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Metodología Equipo SAD 9000-S (Analizador automático de semillas)

Porcentaje de poder germinativo

En el análisis de varianza para la variable poder germinativo utilizando el método del Equipo SAD 9000-S (tabla 8), se observa que existe una diferencia altamente significativa ($p < 0.0001$) entre los 20 lotes en su poder germinativo promedio. El coeficiente de variación es bajo (0.79%).

Tabla 8

Análisis de varianza para poder germinativo de semillas de Ryegrass utilizando el equipo SAD 9000-S

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Plántulas normales	80	0.95	0.94	0.79

FV	gl	SC	CM	F	p-valor
Lote	19	670.20	35.27	62.25	<0.0001
Error Exp.	60	34.00	0.57		
Total	79	704.20			

En la prueba de comparación de medias Duncan para la variable poder germinativo, tabla 9, se detectaron diez rangos de significancia. El lote trece (L₁₃) presenta el mayor poder germinativo promedio (98.75%), perteneciendo al grupo con las medias estadísticamente más altas (grupo J) junto con otros 4 lotes (no diferencias entre ellos). Los menores poderes germinativos se presentan en los lotes cinco (L₅) y cuatro (L₄) (grupos A y B), con 88.5% y 90% respectivamente. Entre estos extremos, se encuentran grupos intermedios de lotes con medias entre 93% y 98%. También se realizó el análisis gráfico mediante diagrama de caja y bigotes (Anexo 9).

Tabla 9

Comparación de medias Duncan para el poder germinativo de las semillas de Ryegrass obtenido en el Equipo SAD 9000-S

Lote	Poder germinativo Equipo SAD 9000-S (%)	
Lote 05	88.50	A
Lote 04	90.00	B
Lote 20	93.00	C
Lote 09	93.25	C
Lote 02	94.00	C D
Lote 12	94.75	D
Lote 16	95.00	D E
Lote 03	95.00	D E
Lote 01	96.00	E F
Lote 07	96.25	F
Lote 15	96.50	F
Lote 14	97.00	F G
Lote 06	97.50	F G H
Lote 17	98.00	G H I
Lote 11	98.50	H I J
Lote 18	98.75	I J
Lote 19	98.75	J
Lote 08	98.75	J
Lote 10	98.75	J
Lote 13	98.75	J

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los porcentajes de poder germinativo obtenidos en el equipo SAD 9000-S son muy similares a los de la metodología tradicional, debido a que al realizar las calibraciones biológicas en el equipo con los datos obtenidos del método tradicional solo se aceptan diferencias entre 0-2 % de poder germinativo.

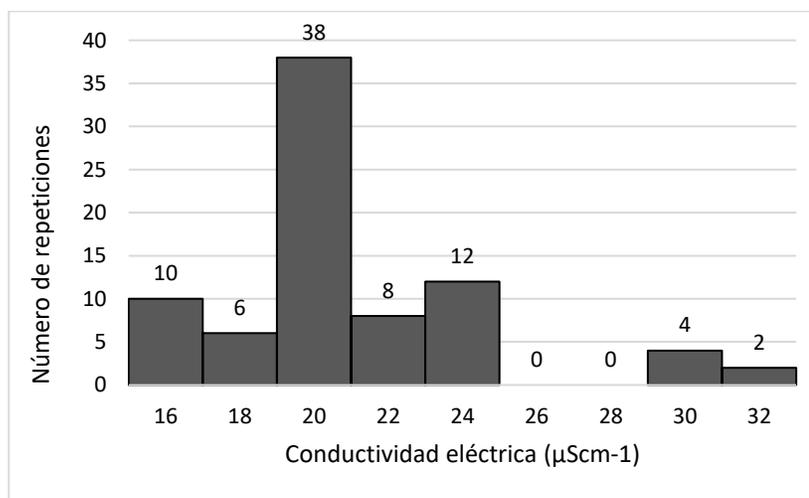
Valor de corte óptimo o superior (μScm^{-1})

El equipo SAD 9000-S fue calibrado para la especie *Lolium perenne* utilizando los datos del porcentaje de poder germinativo obtenidos a través de la prueba de germinación estándar. La figura 5 muestra la presencia de 7 frecuencias diferentes (16, 18, 20, 22, 24, 30 y 32 μScm^{-1}). Entre estas frecuencias, se identificó que el valor de 20 μScm^{-1} presentó la mayor

frecuencia de predicción, con un total de 38 repeticiones (Anexo 7). Basándose en este resultado, se seleccionó el valor de 20 μScm^{-1} como la cota óptima o superior para la calibración del equipo.

Figura 5

Valores de corte superior para la especie Lolium perenne

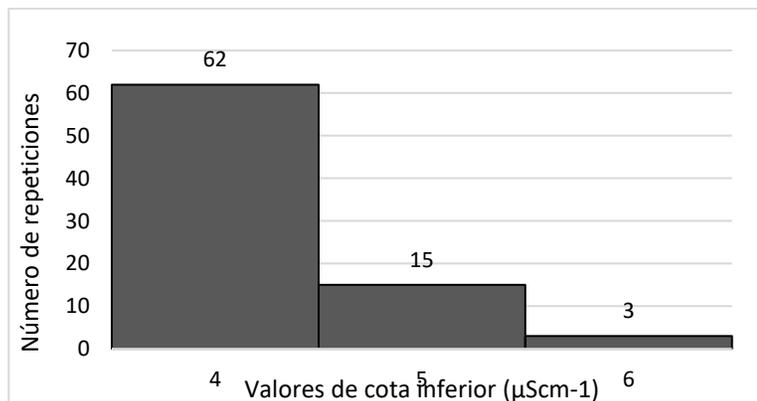


Valor de corte inferior (μScm^{-1})

El valor de cote inferior se estableció en 4 μScm^{-1} debido a que en este valor de corte se encontró la mayor frecuencia de predicción. Entre estas frecuencias, se identificó que el valor de 6 μScm^{-1} fue el que presentó la mayor frecuencia de predicción con 38 repeticiones; por lo tanto, se tomó este valor como la cota inferior.

Figura 6

Valores de corte inferior para la especie Lolium perenne



Conductividad eléctrica (μScm^{-1})

Luego de analizar las semillas después de 24 horas de imbibición en el equipo SAD 9000-S, se observó que el modelo es significativo ($p=0.0091$), indicando que existe diferencia significativa en la conductividad eléctrica entre al menos algunos de los lotes. Se obtuvo un promedio de conductividad eléctrica $8.79 \mu\text{Scm}^{-1}$.

Tabla 10

Análisis de varianza para la variable conductividad eléctrica en 20 lotes de Ryegrass durante un periodo de imbibición de 24 horas.

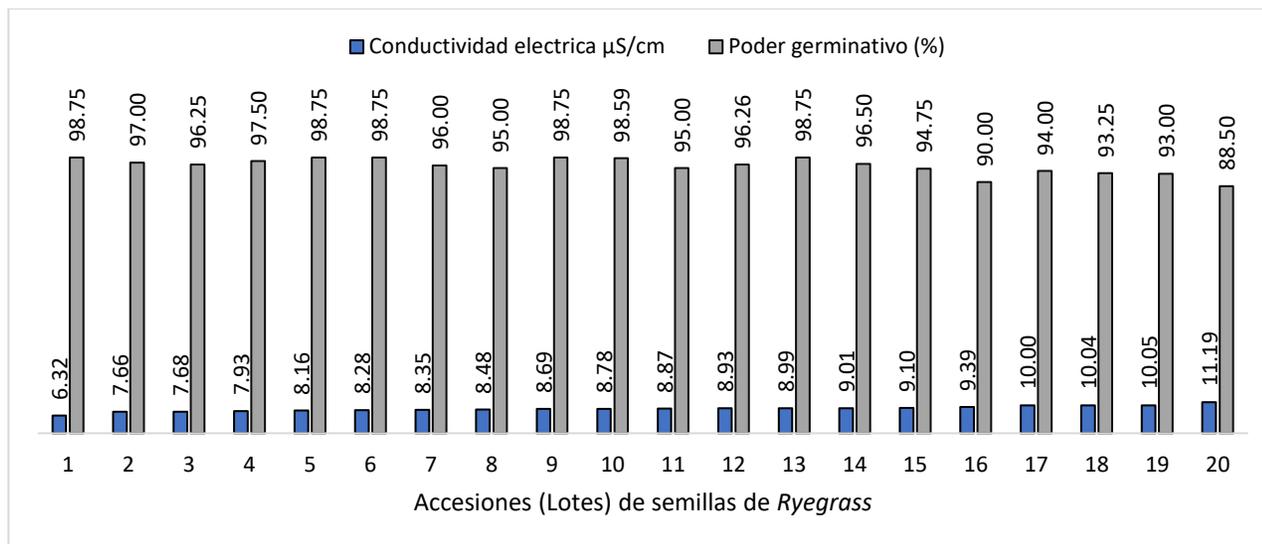
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad eléctrica	40	0.72	0.50	9.80

FV	gl	SM	CM	F	p-valor
Lote	19	42.50	2.24	3.01	0.0091
Error Exp.	20	14.84	0.74		
Total	39	57.34			
Promedio		8.79 μScm^{-1}			

Los valores de corte establecidos en la investigación fueron: $4 \mu\text{Scm}^{-1}$ (cota inferior) y $20 \mu\text{Scm}^{-1}$ (cota superior), en este rango de conductividad se encontraron 2700 semillas (67.5 %) es decir 14 de 20 lotes evaluados. Dichos lotes tienen en promedio de porcentaje de poder germinativo y una conductividad eléctrica de 97.28 % y $8.30 \mu\text{Scm}^{-1}$ respectivamente. Aquellos lotes que superaron la cota optima superior tienen en promedio de porcentaje de poder germinativo y conductividad eléctrica de 92.25 % y $9.96 \mu\text{Scm}^{-1}$ respectivamente (Figura 7).

Figura 7

Comparación de conductividad eléctrica vs poder germinativo de los lotes de semillas de Ryegrass



Correlación entre Poder germinativo del método Tradicional (ISTA, 2013) y Equipo SAD 9000-S

Se estimaron intervalos de confianza (IC) bilaterales al 95% para la media poblacional del poder germinativo de cada método: Equipo SAD 9000-S y Tradicional (Tabla 11). Para el Equipo SAD 9000-S, el intervalo de confianza va de 95.19% a 96.51%. Como no contiene el valor nulo (0), se concluye que el verdadero promedio poblacional de poder germinativo es significativamente distinto de 0 en este método. De forma similar, para el método Tradicional el IC al 95% es (95.78% - 96.97%), excluyendo el 0. Su verdadero promedio poblacional también difiere de 0.

Comparando los intervalos, se observa un traslape parcial. Si bien las medias muestrales son estadísticamente diferentes (ANOVA previo), los intervalos indican que los verdaderos promedios poblacionales podrían ser numéricamente cercanos.

Tabla 11

Intervalos de confianza al 95% para la media poblacional del poder germinativo según método

Método	Variable	Parámetro	Estimación	LI (95%)	LS (95%)
Equipo SAD 9000-S	Poder germinativo	Media	95.85	95.19	96.51
Tradicional	Poder germinativo	Media	96.38	95.78	96.97

Se estimaron intervalos de confianza (IC) bilaterales al 95% para la media poblacional del poder germinativo de cada uno de los 20 lotes evaluados. Todos los IC excluyeron el valor 0, indicando medias verdaderas poblacionales significativamente distintas de 0 para todos los tratamientos. Los mayores promedios poblacionales estimados correspondieron a los lotes 18 y 19 (IC 99%), siguiéndoles otros 7 lotes con IC superiores al 98%. Por otro lado, los menores valores de poder germinativo a nivel poblacional se observaron en los lotes 5 (IC 88.23% - 89.77%) y 4 (IC 89.91% - 92.09%).

Tabla 12

Intervalos de confianza al 95% para la media poblacional del poder germinativo según el lote

Lote	Variable	Parámetro	Estimación	LI (95%)	LS (95%)
Lote 01	Poder germinativo	Media	96.38	95.49	97.26
Lote 02	Poder germinativo	Media	94.75	93.51	95.99
Lote 03	Poder germinativo	Media	95.38	94.75	96.00
Lote 04	Poder germinativo	Media	91.00	89.91	92.09
Lote 05	Poder germinativo	Media	89.00	88.23	89.77
Lote 06	Poder germinativo	Media	97.63	97.19	98.06
Lote 07	Poder germinativo	Media	96.75	96.01	97.49
Lote 08	Poder germinativo	Media	98.38	97.75	99.00
Lote 09	Poder germinativo	Media	93.25	92.86	93.64
Lote 10	Poder germinativo	Media	98.63	98.19	99.06

Lote	Variable	Parámetro	Estimación	LI (95%)	LS (95%)
Lote 11	Poder germinativo	Media	98.63	98.19	99.06
Lote 12	Poder germinativo	Media	95.00	94.55	95.45
Lote 13	Poder germinativo	Media	98.75	98.36	99.14
Lote 14	Poder germinativo	Media	97.25	96.66	97.84
Lote 15	Poder germinativo	Media	97.00	96.37	97.63
Lote 16	Poder germinativo	Media	95.50	94.73	96.27
Lote 17	Poder germinativo	Media	98.00	97.37	98.63
Lote 18	Poder germinativo	Media	99.00	98.55	99.45
Lote 19	Poder germinativo	Media	99.00	98.55	99.45
Lote 20	Poder germinativo	Media	93.00	92.55	93.45

El análisis de varianza para el poder germinativo según el método: Equipo SAD 9000-S y Tradicional, y lote (Tabla 13) nos muestra que, existe diferencia altamente significativa ($p < 0.0001$) tanto entre métodos como entre lotes. La interacción método*lote no es significativa ($p = 0.0843$). El coeficiente de variación es bajo (0.75) lo que indica precisión experimental.

Tabla 13

Análisis de varianza del poder germinativo de semillas según método y lote

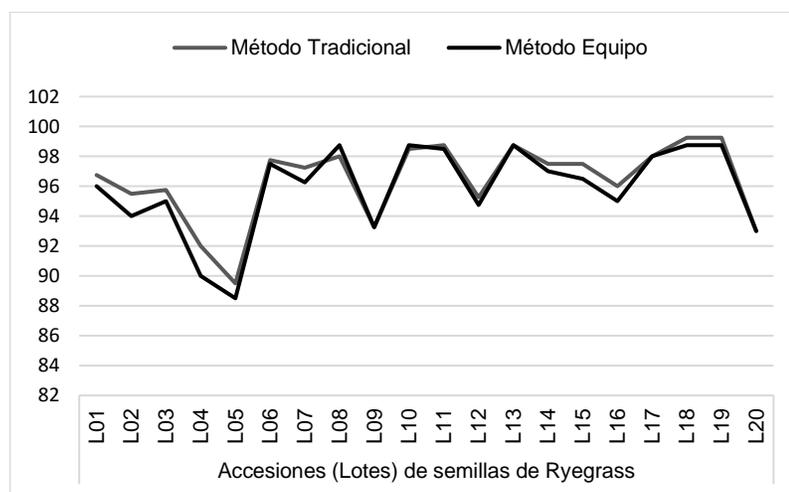
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Poder germinativo	160	0.9510	0.9351	0.75

Fuente de variación	Grados de libertad	SC	CM	F	p-valor
Modelo	39	1213.48	31.11	59.74	<0.0001
Método	1	11.03	11.03	21.17	<0.0001
Lote	19	1187.23	62.48	119.97	<0.0001
Método*Lote	19	15.23	0.80	1.54	0.0843
Error	120	62.50	0.52		
Total	159	1275.98			

En el gráfico de interacción de método*lote (Figura 8) se aprecia un comportamiento muy similar entre métodos para la mayoría de los casos. Los lotes 18, 19, 13 y 10 se destacan como los de mayor poder germinativo en ambos métodos, todos con valores superiores al 98%. Por otro lado, el lote 5 y 4 evidencian los menores poderes tanto en el Tradicional como en el Equipo. Al comparar entre métodos lote por lote, se distinguen pequeñas diferencias de 1-2 puntos porcentuales para los lotes 2, 3, 4, 5, 7 y 12. Sin embargo, en los 14 lotes restantes prácticamente no existen diferencias entre los métodos. El análisis indica un comportamiento y efectividad muy similar de ambos métodos de determinación de poder germinativo para la mayoría de los materiales, existiendo ligeras variaciones solamente en unos pocos casos específicos.

Figura 8

Comportamiento del poder germinativo por lote según el método tradicional vs Equipos SAD 9000-S



Según la prueba Duncan, el método Tradicional presenta un poder germinativo promedio mayor en 0.53 (diferencia significativa) que el Equipo SAD 9000-S. Los lotes dieciocho (L₁₈) y diecinueve (L₁₉) presentan los mayores poderes germinativos promedio (99%), seguidos de cerca por otros 7 lotes. Los lotes cinco (L₅) y cuatro (L₄) tienen los menores poderes germinativos promedio.

Tabla 14

Comparación de medias de poder germinativo para la interacción método y lote mediante

Duncan

Método	Medias	n	E.E	
Equipo SAD 9000-S	95.85	80	0.08	A
Tradicional	96.38	80	0.08	B

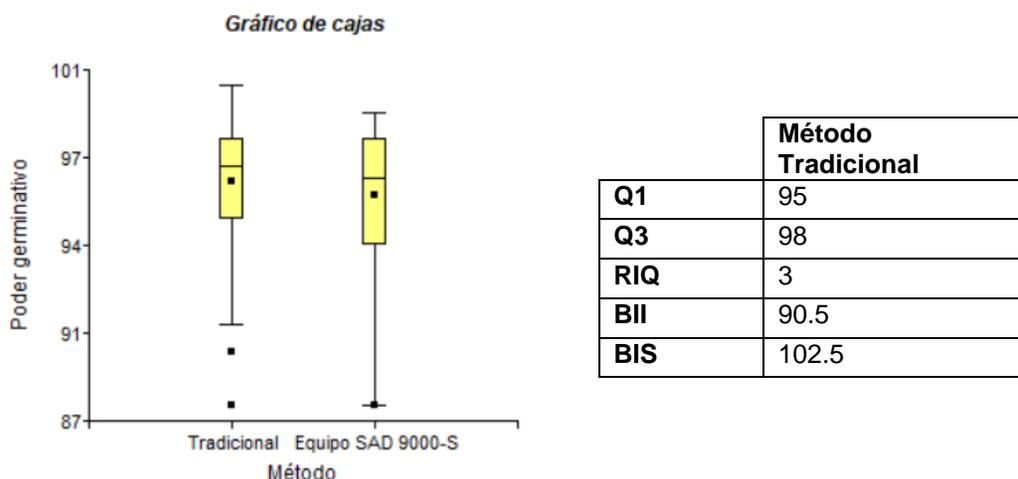
Lote	Medias								
Lote 05	89.00	A							
Lote 04	91.00	B							
Lote 20	93.00	C							
Lote 09	93.25	C							
Lote 02	94.75	D							
Lote 12	95.00	D							
Lote 03	95.38	D							
Lote 16	95.50	D							
Lote 01	96.38	E							
Lote 07	96.75	E F							
Lote 15	97.00	E F G							
Lote 14	97.25	F G H							
Lote 06	97.63	G H							
Lote 17	98.00	H I J							
Lote 08	98.38	I J K							
Lote 10	98.63	J K							
Lote 11	98.63	J K							
Lote 13	98.75	J K							
Lote 19	99.00	K							
Lote 18	99.00	K							

El análisis del gráfico de cajas del poder germinativo según el método utilizado (Figura 9), muestra el rango intercuartil (RIQ) que abarca el primer cuartil (Q1) hasta el tercer cuartil (Q3). Los puntos que están fuera de los bigotes indican los valores atípicos o extremos. En el caso del método tradicional existen valores fuera de la barrera superior (BIS= 102.5) e inferior (BII= 90.5), los cuales son los pertenecientes al lote cinco (L₅) (Anexo 7). En el caso del método con el equipo SAD 9000-S no existe ningún valor atípico.

Como no hay traslapes entre ambas metodologías, no existen diferencias significativas según el método en cuanto al poder germinativo.

Figura 9

Diagrama de Caja y Bigotes del poder germinativo en función del método empleado



Con los datos obtenidos se comprobó que se cumple con los supuestos de normalidad mediante un diagrama Q-Q plot y una prueba de Shapiro-Wilks con los residuos obtenidos a partir del poder germinativo, su homogeneidad e independencia mediante un diagrama de dispersión en el cual no se encontró un patrón, y homocedasticidad mediante la prueba de Levene, donde se comprueba que el modelo completo resulta significativo ($p=0.0465$) (Ver anexo 10).

Finalmente, con el fin de cuantificar la asociación entre ambos métodos se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los valores de poder germinativo obtenidos mediante el método Tradicional y el Equipo SAD 9000-S (ver Anexo 11), con el fin de cuantificar la asociación entre ambos, se obtuvo un coeficiente de 0.98 ($p<0.05$), indicando una muy alta correlación directa y positiva entre los dos métodos a un nivel estadísticamente significativo.

Capítulo V: Discusión

La presente investigación comparó la efectividad del método tradicional (ISTA) y el equipo automatizado SAD 9000-S para evaluar el poder germinativo en semillas de Ryegrass (*Lolium perenne*).

Inicialmente, en la tabla 7, se observa que el método ISTA evidenció diferencias significativas en el poder germinativo entre los 20 lotes evaluados ($p < 0.0001$), con un coeficiente de variación bajo (0.72%) que indica una buena precisión en el experimento. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por (Ellis & Roberts, 1980), quienes también encontraron variabilidad en el poder germinativo entre diferentes lotes de semillas de Ryegrass al evaluarlos mediante el método tradicional de conteos de plántulas normales, anormales y semillas sin germinar.

Las diferencias en poder germinativo entre lotes pueden deberse a factores pre-cosecha como condiciones ambientales y de cultivo, así como a manejo pos-cosecha durante el procesamiento y conservación (secado y aireación). Además, existen otros aspectos, tales como la selección de la fecha de siembra, la temperatura, la humedad y la condición física de la cámara de germinación (Craviotto et al., 2015).

Luego, se calibró el equipo SAD 9000-S con los datos ISTA para establecer rangos óptimos de conductividad eléctrica asociados al poder germinativo, con una temperatura de 23°C (ver Anexo 6). El Manual de Procedimientos Biológicos indica que es esencial tener los resultados de las pruebas estándar de germinación para calibrar el Analizador automático de Semillas y determinar los rangos de conductividad eléctrica (Bewley & Black, 2012). Según Da Silva et al. (2013) en su investigación de conductividad eléctrica de diferentes genotipos de semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), los rangos de C.E. deben establecerse en un rango de temperatura entre 20 a 23 grados celsius, ya que la conductividad eléctrica varía con la temperatura.

Se determinaron los valores de inferior y superior ($4 \mu\text{Scm}^{-1}$ - $20 \mu\text{Scm}^{-1}$) (Figura 5 y 6). La fijación de puntos de corte adecuados es esencial para garantizar la precisión de este método en la estimación del poder germinativo, tal como documentan Alvarenga et al. (2015) en cereales y Fessel et al. (2010) en leguminosas. La calibración con datos de pruebas de germinación estándar posibilita fijar umbrales óptimos según niveles de viabilidad en cada especie (Das & Saha, 2006).

El valor superior hallado coincide con rangos reportados por (ISTA, 2020) en pastos del género *Lolium*, quienes sugieren como óptimo $20 \mu\text{Scm}^{-1}$ para separar lotes de alta y baja calidad. Asimismo, el punto de corte inferior se aproxima al propuesto para especies relacionadas (Association of Official Seed Analysts, 2013).

Es importante destacar que, al ser este el primer estudio que utiliza el equipo SAD 9000-S para evaluar la conductividad eléctrica en semillas de *Lolium perenne*, no es posible realizar una comparación directa con investigaciones previas en la misma especie. No obstante, se han realizado estudios similares en otras gramíneas, como el arroz (*Oryza sativa*), donde se han establecido rangos de conductividad eléctrica para la estimación del poder germinativo en 24 horas, utilizando el mismo equipo (Piccinin, 2011). En este caso, se encontró una cota superior de $20 \mu\text{Scm}^{-1}$ y una cota inferior de $5 \mu\text{Scm}^{-1}$, lo que representa una diferencia significativa con respecto a los valores encontrados en nuestro estudio para *Lolium perenne*.

En trigo (*Triticum spp*) con un rango de conductividad eléctrica de $10 \mu\text{Scm}^{-1}$ - $50 \mu\text{Scm}^{-1}$ se determina el poder germinativo en 24 horas, mientras que el método tradicional el tiempo es 8 días (Pantoja, 2018).

El análisis con el SAD 9000-S también evidenció diferencias significativas ($p < 0.0001$) entre lotes (Tabla 9). El lote 13 presentó el mayor promedio (98.75%) y los lotes 5 y 4 los menores (88.5% y 90% respectivamente). La calibración realizada entre los datos del método ISTA y los rangos obtenidos con el SAD 9000-S explicaría la alta similitud entre los resultados

de poder germinativo de ambos métodos encontrada en este estudio, donde solo se aceptaron diferencias de 0-2 puntos porcentuales, lo que fortalece la confiabilidad de los rangos de conductividad eléctrica establecidos para la especie *Lolium perenne*. Además, se evidenció una alta correlación entre los porcentajes de poder germinativo obtenidos con ambos métodos, lo que respalda la precisión del equipo SAD 9000-S para la evaluación del poder germinativo en esta especie. Estudios realizados en otras especies también evidencian la buena correlación entre estos enfoques cuando se realiza una adecuada calibración inicial (Das & Saha, 2006).

Los resultados obtenidos en la comparación de conductividad eléctrica vs el poder germinativo de los lotes (Tabla 10) indican que existe una relación entre la conductividad eléctrica de los solutos lixiviados de las semillas de Ryegrass y su poder germinativo. Esto concuerda con lo evidenciado por Fessel et al. (2010) donde observó una relación directamente proporcional entre la disminución del poder germinativo y el aumento de la fuga de iones Ca, Mg y K en el cultivo de maíz. Este estudio confirma la estrecha relación entre la integridad de la membrana celular y la pérdida de poder germinativo, ya que lotes con membranas más deterioradas liberan mayor contenido citoplasmático, lo que a su vez aumenta la conductividad eléctrica. (Tajbakhsh, 2000).

También se establecieron rangos de normalidad entre 4 y 20 μScm^{-1} . Lotes fuera de este intervalo mostraron poder germinativo disminuido y conductividad elevada. Esto se corresponde con investigaciones realizadas por Valdez (2018), quien encontró una correlación negativa entre la conductividad eléctrica y el porcentaje de germinación en semillas de tomate de árbol (*Solanum Betaceum*). Valores altos de conductividad se asociaron a menor vigor y viabilidad de las semillas.

La medición de la conductividad eléctrica es una técnica valiosa para evaluar objetivamente la condición fisiológica y morfológica de las semillas individuales, basándose en las sustancias liberadas durante la imbibición (Smith et al., 2018). Cuando las membranas celulares están deterioradas, se produce una pérdida de contenido intracelular como iones y

carbohidratos. Estos solutos actúan como electrolitos, conduciendo la corriente eléctrica. Por lo tanto, una alta conductividad eléctrica indica la presencia en el exudado de una mayor cantidad de iones procedentes de estructuras celulares y subcelulares dañadas (Wijaya et al., 2010).

Además, estudios realizados por The International Seed Testing Association (1995), han comprobado que existe una relación entre el envejecimiento de las semillas y su conductividad eléctrica. Tanto las semillas que envejecen de forma natural con el tiempo como aquellas artificialmente aceleradas, muestran mayores niveles de conductividad cuando son evaluadas, en comparación con semillas jóvenes y sanas.

Al evaluar el comportamiento lote por lote (Figura 8), se observó un patrón muy similar entre ambos métodos en 14 de los 20 lotes, sin diferencias relevantes en el poder germinativo determinado. Las mayores variaciones (1-2 puntos porcentuales) se presentaron en sólo 6 lotes específicos (lotes 2, 3, 4, 5, 7 y 12). Estudios previos que compararon mediciones de poder germinativo entre métodos tradicionales y equipos como el SAD 9000-S también hallaron diferencias estadísticas entre lotes, pero no entre métodos. Por ejemplo, (Smith & Williams, 2022) no encontraron interacción significativa método*lote al validar el equipo en trigo, atribuyendo las mínimas variaciones a la mayor precisión del análisis visual para detectar plántulas anormales.

En el análisis estadístico comparativo entre el método tradicional (ISTA, 2013) y el equipo SAD 9000-S para la determinación del poder germinativo en semillas de Ryegrass (Tabla 14), se evidencia que el método tradicional presentó un poder germinativo promedio de 96.38%, mientras que el equipo SAD 9000-S obtuvo un 95.85%. Si bien esta diferencia de 0.53 puntos porcentuales es estadísticamente significativa, los intervalos de confianza indican que los verdaderos promedios poblacionales podrían ser numéricamente cercanos. La fuerte asociación positiva encontrada entre ambas técnicas indica que el equipo SAD 9000-S es capaz de predecir de manera precisa el poder germinativo de los lotes de semillas de Ryegrass, entregando resultados consistentes con la metodología estándar (tradicional).

Finalmente, en la correlación de Pearson, se obtuvo un coeficiente de 0.98, indicando una muy alta correlación directa y positiva entre los dos métodos a un nivel estadísticamente significativo. Esto concuerda con investigaciones previas como la de Hrstková et al. (2006) quienes reportan coeficientes de correlación sobre 0.9 entre métodos de conductividad eléctrica y germinación en diversas especies.

Este método, basado en la conductividad de los electrolitos liberados por las semillas durante la imbibición, ha mostrado ser rápido, no destructivo y con buena correlación con las pruebas de germinación estándar.

Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se logró obtener el porcentaje germinativo de las semillas de Ryegrass (*Lolium perenne*) por el método tradicional. La media del porcentaje germinativo por el método tradicional fue del 96.38%.

Se obtuvo los valores de conductividad eléctrica de las semillas de Ryegrass (*Lolium perenne*) evaluadas por el método del Equipo SAD 9000 S donde se reflejó que la conductividad eléctrica óptima para el cultivo de Ryegrass es de $20 \mu\text{Scm}^{-1}$. La media del porcentaje germinativo por el método del Equipo SAD 9000 S fue del 95.85%.

El método de comparación de medias demostró que no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos por el método tradicional con los resultados reflejados por el método del Equipo SAD 9000 S para la medición del porcentaje germinativo del cultivo de Ryegrass (*Lolium perenne*).

La alta correlación obtenida $\rho = 0.98$ valida el uso de rangos de conductividad eléctrica determinados con el equipo SAD 9000-S como un método efectivo y confiable para evaluar rápidamente la calidad y predecir el poder germinativo de lotes de semillas de Ryegrass (*Lolium perenne*).

Recomendaciones

La tecnología proporcionada por el Equipo SAD 9000-S tiene el potencial de mejorar los procesos de germinación de las semillas. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios germinativos con el equipo SAD 9000-S en otras especies de interés económico y forestal, dado que existe poca información sobre la eficacia del método en estas.

Se sugiere explorar la capacidad del equipo SAD 9000-S para evaluar no solo la germinación, sino también otras características como el vigor, la dureza y la dormancia, a fin de obtener información más completa sobre diferentes tipos de semillas en futuros estudios.

El estudio sentó bases sobre los niveles de conductividad discriminantes de viabilidad en *Lolium perenne* según mediciones con el equipo SAD 9000-S. Los puntos de corte establecidos requieren ser confirmados con mayor número de observaciones para reforzar su utilidad práctica.

Capítulo VII: Bibliografía

- Alabdulla, S. (2019). *Seed viability*. Obtenido de Research Gate:
https://www.researchgate.net/publication/333092001_Seed_Viability
- Almusaed, A. (2017). *Introductory chapter: Overview on Grass topic*. Obtenido de InTech eBooks: <https://doi.org/10.5772/intechopen.70407>
- Alvarenga, E., Marques, R., & Lima, L. (2015). Electrical conductivity for assessing quality of soybean seeds stored under controlled conditions. *Journal of Seed Science*, 37(3), 158-164. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n3152385>
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). (2013). Conductivity analyzer lookup table values for quality assurance. *AOSA Rules for testing seeds*, 1.
- Balocchi, O., & Lopez, I. (2009). Produccion de fitomasa, calidad nutritiva y preferencia de pastoreo de cultivares diploides y tetraploides de ballica perenne (*Lolium perenne* L.). . *Chilean Journal of agricultural research*.
- Barenbrug. (2018). *Hybrid Ryegrass*. Obtenido de Barenbrug: <https://barenbrug.com.au/forage-pasture/pasture-grasses/hybrid-ryegrass/shogun.htm>
- Baskin, C., & Baskin, J. M. (2014). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, V(6), 1043-1064. Obtenido de <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/>
- Bewley, J., & Black, M. (2012). The physiology of development; seeds: germination, dormancy and environmental control. . *Springer Science & Business Media*.
- Bologna, J. (2016). Obtenido de Engormix.com Web Site: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/raigras-anual-raigras-diploide-t30662.htm>.
- Calderon, D. (2020). *Respuesta a la fertilización de un Ryegrass para alimentación de vacas lecheras en el cantón Sigchos, sector las parcelas*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Calderón, M. (2020). *Evaluación del poder germinativo de semillas de Ryegrass (Lolium perenne) mediante conductividad eléctrica*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

- Cardoso, V.J.M. Germinação. En *Fisiología Vegetal*, 2ª ed.; Kerbauy, G.B., Ed.; Guanabara Koogan: Río de Janeiro, Brasil, 2008; págs. 384-408.
- Castillo, H. (2015). Producción de forraje de invierno en el norte de Tamaulipas. Secretaria de agricultura ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación.
<http://www.inifapcirne.gob.mx/Eventos/2015/Siembra+Rye+Grass.pdf>
- Copeland, L.O., McDonald, M.B. (2001). Seed Testing. In: Principles of Seed Science and Technology. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1619-4_15
- Craviotto, R., Arango, M., Gallo, C. (2015). El poder de la germinación. *Revista Chacra*.
<https://www.revistachacra.com.ar/soja-1062/el-poder-de-la-germinacion/#:~:text=Existen%20efectivamente%20variaciones%20que%20pueden%20llegar%20a%20ser,ambiente%20de%20siembra%20son%20sub%20%C3%B3ptimas%20o%20sencillamente%20adversas.>
- Da Silva, S. S., Vieira, R. D., De Souza Grzybowski, C. R., De Carvalho, T. C., & Panobianco, M. (2013). Electrical conductivity of different common bean seeds genotypes. *Journal Of Seed Science*, 35(2), 216-224. <https://doi.org/10.1590/s2317-15372013000200011>
- Das, B. C., & Saha, P. (2006). Ultrastructural dimorphism of micropyle determines differential germinability of *Sesbania cannabina* seeds. *Seed Science And Technology*, 34(2), 363-372. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.2.12>
- Demagnet, R. (2013). Pastizales en el sur de Chile. Departamento de Producción Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera
- Doria, Jessica. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 00. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011&lng=es&tlng=es.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011&lng=es&tlng=es)
- Duarte, A; Peláez, D; Cadena, M. E. (1985). Pastos de Clima Frio. Cartilla 3. 55pp.

- Elias, S. G., Copeland, L. O., McDonald, M. B., & Baalbaki, R. Z. (2012). *Seed Testing: Principles and Practices*. Michigan State University Press.
<http://www.jstor.org/stable/10.14321/j.ctt7zt51m>
- Ellis, R.H. & Roberts, E.H. (1980). Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*, 45(1), 13-30. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085797>
- Encyclopaedia Britannica. (2023, 17 octubre). *Grass | Definition, Families, & Facts*.
 Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/grass>
- Farrás, T. (2018). Calidad de semilla: qué implica y cómo determinarla. *Laboratorio de Calidad de Semilla* Instituto Nacional de Semilla
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). *Semillas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/seeds/es/>
- FAO . (2021). Siete razones por las que el pastoreo favorece un futuro mejor. (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*). Obtenido de <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1455057/>
- FAO y AfricaSeeds. (2019). *Materiales para capacitación en semillas - Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas*. Roma.
- FEDNA. (2016). Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal. Obtenido de *Ray-grass, verde*: <https://fundacionfedna.org/forrajes/ray-grass-verde>
- Fessel, S.A.; Vieira, R.D.; Cruz, M.C.P.; Paula, R.C.; Panobianco, M. (2010). Pruebas de conductividad eléctrica de semillas de maíz influenciadas por la temperatura y el período de almacenamiento. *Pesqui. Agropecu. Sujetadores*. 41, 1551-1559.
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). *Seed Science Research*, 16(S1), 15-34.
- Gutierrez, H. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. Tercera edición. *McGraw Hill*. 5, 121-130.

- Hannaway, D., Fransen, S., Cropper, J., & Lane, W. (1999). Perennial Ryegrass
https://www.researchgate.net/publication/45793996_Perennial_ryegrass_Lolium_perenn_e_L
- Harshitha, N. (2023, 16 septiembre). Is conductivity a physical property: How, why and detailed facts -. *Lambda Geeks*. <https://es.lambdageeks.com/is-conductivity-a-physical-property/>
- Heslop-Harrison, J. (2023, 15 noviembre). *Germination | Description, Process, Diagram, Stages, Types, & Facts*. Encyclopedia Britannica.
<https://www.britannica.com/science/germination>
- Hoyos, M. (2022, 28 septiembre). *Composición porcentual del aire*. Curso Para la UNAM.
<https://cursoparalaunam.com/composicion-porcentual-del-aire>
- Hrstková, P., Chloupek, O., & Bébarová, J. (2006). Estimation of Barley Seed Vigour with Respect to Variety and Provenance Effects. *Czech Journal Of Genetics And Plant Breeding*, 42(2), 44-49. <https://doi.org/10.17221/3653-cjgpb>
- INEC. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. *Instituto Nacional de Estadística y Censos*.
- INIAP. (2011). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Estación experimental del austro. Recuperado el 06 de diciembre del 2023, de guía de manejo de pastos para la sierra ecuatoriana. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2318>
- InfoAgro. (2020). El cultivo del RaiGr S (*Lolium spp.*).
https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_raigras___em_lolium__em__spp___.asp
- International Seed Testing Association (ISTA). (1995). Handbook of vigour test methods (3rd ed.). J.G. Hampton, D.M. TeKrony & the ISTA Vigour Test Committee (eds). Bassersdorf, Switzerland. 117 pp

- International Seed Testing Association (ISTA). (2014). Handbook of seedling evaluation (3rd ed.). J.G. Hampton, D.M. TeKrony & the ISTA Vigour Test Committee (eds). Bassersdorf, Switzerland. 117 pp
- International Seed Testing Association (ISTA) (2020). Table 5B Part 1: conductivity lookup table for quality assurance. In: ISTA Handbook on seedling evaluation (4th ed.). Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association.
- Javaid, M. M., Mahmood, A., Alshaya, D. S., AlKahtani, M. D., Waheed, H., Wasaya, A., Khan, S. A., Naqve, M., Haider, I., Shahid, M. A., Nadeem, M. A., Azmat, S., Khan, B. A., Balal, R. M., Attia, K. A., & Fiaz, S. (2022). Influence of environmental factors on seed germination and seedling characteristics of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13416-6>
- Kumar, R. (2020). Types and Stages of Seed Germination. Plant Propagation and Nursery Management. <http://www.jnkvv.org/PDF/060420201422255.pdf>
- León, R., Bonifaz, N., & Gutierrez, F. (2018). Siembra y producción de pasturas. *Pastos y forrajes del Ecuador*. doi: ISBN UPS: 978-9978-10-318-0
- Mangrich, M.E.; Viggiano, J.; Pereyra, V. (2011). Análisis de semillas. Editorial Hemisferio Sur.
- Milberg, P.; Andersson, L.; Thompson, K. (2000). Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones. *Seed Science Research*.
- Moncaleano-Escandón, J.; Silva, B.C.F.; Silva, S.R.S.; Granja, J.A.; Alves, M.C.J.L.; Pompelli, M.F. (2013). Respuestas de germinación de semillas de *Jatropha curcas* L. al almacenamiento y envejecimiento. *Ind. Cultivo. Prod*, 44, 684–690.
- Nelson, S. C., & Wrigley, C. (2016). Scientific societies associated with grain science. En *Elsevier eBooks*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394437-5.00060-7>
- Panobianco, M., Vieira, R. D., & Perecin, D. (2007). Electrical conductivity as an indicator of pea seed aging of stored at different temperatures. *Scientia Agricola*, 64(2), 119-124.

- Pantoja, P. (2018). Determinación de los rangos de conductividad eléctrica, para el diagnóstico del porcentaje de germinación en arroz y trigo. Trabajo de Fin de Grado. Universidad Central del Ecuador.
- Piccinin, A. (2011). Determinação do potencial fisiológico de sementes de arroz baseado na integridade das membranas celulares. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado. Universidad Federal de Santa María, Brasil.
- Pompelli, M. F., Jarma-Orozco, A., & Rodríguez-Páez, L. A. (2023). Imbibition and germination of seeds with economic and ecological interest: physical and biochemical factors involved. *Sustainability*, 15(6), 5394. <https://doi.org/10.3390/su15065394>
- Rajjou, L., Gallardo, K., Debeaujon, I., & Marion-Poll, A. (2012). *Plant Physiology*, 160(1), 156-166. <https://academic.oup.com/plphys>
- Ramos, X. (2 de Enero de 2021). Los sembríos transitorios que dan más diversidad a la producción agrícola nacional pierden terreno en Ecuador. *Economía | Noticias | El Universo*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2021/01/02/nota/9188410/cultivos-seguridad-ali>
- Rodríguez, I., Adam, G., y Durán, J. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Tecnología*, 836-842.
- Rodríguez, A. M., Jacobo, E. J., & Deregibus, V. A. (1998). Comportamiento germinativo del raigrás italiano en pastizales pampeanos inundados. *Investigación de la Ciencia de las Semillas*, 8(4), 521–528. doi:10.1017/S0960258500004499
- Saini, A.; Bassi, P.K.; Spencer, M.S. (1985). Seed germination in relation to phytochrome and abscisic acid. *Plant Physiology*.
- Salisbury, F. B. & Ross, C. W. (1992). *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica, México. Capítulo 16.
- Seed technology. (2014). Seed Testing. En *Agritech Portal*. Consultado de: https://agritech.tnau.ac.in/seed/Seed_seedtesting.html

Shillito, R. D. (2022). International standards and guidelines. En *Elsevier eBooks* (pp. 215-225).

<https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99293-0.00004-0>

Smith, M. T., Berjak, P., Pammenter, N. W., & Mycock, D. J. (2018). Intracellular, extracellular and total electrical conductivity as measures of seed viability. *South African Journal of Botany*, 114, 170-175.

Soluciones Tecnológicas Globales Grupo Consultar. (2008). SAD 9000 S - Analizador de calidad de semillas. Recuperado de

<http://www.laboratorioconsultar.com/es/especificaciones.php?ID=11&tipo=Mg=>

Soto, J.; Valiengo, S. (2011). Prueba de la conductividad eléctrica en la evaluación fisiológica de la calidad de semillas en *Zeyheria tuberculosa*. *BOSQUE* 32(2): 197-202

Taiz, L.; Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*. Sinauer Associates, Incorporated Publishers

Tajbakhsh, M. (2000). Relationships between Electrical Conductivity of Imbibed Seeds

Leachate and Subsequent Seedling Growth (Viability and Vigour) in *Omid Wheat*. 2: 67-

71

Team, F. E. N. (2011, 12 noviembre). *Identifying Pastures: Part 1*. FeedXL Horse Nutrition

Calculator. <https://feedxl.com/24-identifying-pastures-part-1/>

TODOAGRO. (2023). *Ryegrass Perenne*. KODEAR. Consultado de:

<https://todoagro.com/producto/ryegrass-perenne>

Valdez, J. (2018). Rangos de conductividad eléctrica en semilla de tomate de árbol utilizando el equipo SAD 9000-S. *Proyecto de investigación*

Vélez, Y. (2019). Adaptabilidad de seis variedades de Ryegrass y su desempeño productivo en la hacienda tajamar, cantón Cayambe.

Wijaya, A., Teixeira da Silva, J. A., & Tranb, N. T. (2010). Electrical conductivity as a vigour test in maize (*Zea mays L.*) seeds. *Seed Science and Technology*, 38(3), 685-697.

Yáñez, D. (2020). Respuesta a la fertilización de un Ryegrass para alimentación de vacas lecheras en el cantón Sigchos, sector las parcelas. *Proyecto de investigación*

Apéndice