

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**VARIABILIDAD INTER POBLACIONAL EN CARACTERISTICAS
ASOCIADAS A LA CAPACIDAD DE RESIEMBRA NATURAL DE RAIGRÁS:
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS Y DORMANCIA**

por

Nicolás RODRIGUEZ OCAMPO

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2022**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. PhD, Javier Do Canto

Lic. Bioq. Mag, Nicolás Glison

Ing. Agr. MSc, Luis Viega (Fagro)

Fecha: 28 de julio de 2022

Autores:

Nicolás Rodríguez Ocampo

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, en especial a mi padre, madre, hermano por el apoyo, el aliento y el amor incondicional de todos estos años.

A los amigos de toda la vida y a los muchos que me dio la carrera, gracias por haber hecho de estos años un disfrute.

A mis tutores, Javier Do Canto, Nicolás Glison y Félix Gutiérrez. Gracias por haberme permitido investigar sobre una temática en la cual no existe mucha información a nivel nacional y regional. Por estar siempre a disposición, por esa paciencia interminable.

A los compañeros del laboratorio de INIA La Estanzuela, sobre todo Eduardo Calistro y demás compañeros que siempre estuvieron ahí para guiarme en el trabajo y ayudarme. Sin dudas, muchísimas experiencias y momentos compartidos.

A los compañeros del laboratorio de Fisiología Vegetal de Facultad, por permitirme realizar parte de los experimentos en ese lugar, sobre todo a Nicolás Glison por estar siempre a mi lado y dispuesto a ayudarme.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1 CARACTERÍSTICAS DE <i>Lolium multiflorum</i> var. LAM.....	3
2.1.1 Origen y descripción botánica.....	3
2.1.2 Variabilidad genética asociada al nivel de ploidía y tipos de raigrás. ..	3
2.1.3 Disponibilidad de cultivares en Uruguay.....	6
2.2 EL RAIGRAS EN LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS,	7
2.2.1 Raigrás en los sistemas agrícolas.....	7
2.2.2 Rol y usos en los sistemas ganaderos.	10
2.3 RAIGRÁS EN SISTEMAS DE RESIEMBRA.	13
2.3.2 Acondicionamiento del tapiz, semilla y fertilización.	15
2.4 MECANISMOS DE PERSISTENCIA: PRODUCCIÓN DE SEMILLA Y DORMICIÓN.....	16
2.4.1 Producción de semillas.....	16
2.4.2 Viabilidad de semillas, dormición y germinación.	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.2 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA.....	20
3.3 EXPERIMENTO DE ALMACENAMIENTO EN SECO.....	21
3.4 EXPERIMENTO DE PERSISTENCIA DE SEMILLAS A CAMPO.	21
3.5 ANALISIS ESTADISTICO.....	23
3.5.1 Modelos y ANAVA de componentes del rendimiento y sus correlaciones.	23
3.5.2 Determinaciones y ANAVA para germinación y viabilidad.	23
3.5.3 Variables y ANAVA para experimento de persistencia de semillas a campo.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	25
4.1 RESULTADOS DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA Y ASOCIACIÓN DE COMPONENTES DE RENDIMIENTO.....	25

4.1.1 Correlaciones entre los componentes del rendimiento y coeficiente de variación.	27
4.2 EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN SECO.....	31
4.2.1 Viabilidad	31
4.2.2 Cambios en el nivel de dormición según plodía y genotipos.	32
4.3 RESULTADOS DE PERSISTENCIA DE SEMILLAS A CAMPO.	36
5. CONCLUSIONES.	41
6. RESUMEN.....	42
7. SUMMARY.....	44
8. BIBLIOGRAFÍA.....	46

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.

Cuadro No. 1. Información de cada cultivar en relación al estatus, ploidía y fechas de floración correspondiente.....	20
Cuadro No. 2. Diferencias varietales y por nivel de ploidía en los distintos componentes del rendimiento de semilla.....	26
Cuadro No. 3. Coeficiente de correlación y nivel de significancia entre los componentes de rendimiento de semilla para los cultivares diploides y tetraploides, y prueba z comparando ambas correlaciones.....	28
Cuadro No. 4. Coeficiente de variación (%) de cada componente del rendimiento, general y para cada nivel de ploidía.	30
Cuadro No. 5. Viabilidad de las semillas para cada cultivar con diferentes tiempos de almacenamiento. Se muestra el valor promedio de lo obtenido en 25°C y en 30°C.....	31

Figura No.

Figura No. 1. Instalación del experimento en el campo	22
Figura No. 2. Evolución de la proporción de dormición en almacenamiento en seco frente a temperaturas de germinación de 25° y 30°C para cada variedad.	34
Figura No. 3. Evolución del estado de las semillas de E284 en condiciones de campo durante el verano.	38
Figura no. 4. Evolución del estado de las semillas de Camaro en condiciones de campo durante el verano.	38

1. INTRODUCCIÓN.

El cultivo de raigrás (*Lolium multiflorum* L.) está ampliamente difundido en los sistemas ganaderos del Uruguay como una opción forrajera para el período invernal, debido a su facilidad de implantación, productividad y calidad nutricional entre otros. Es utilizado como cultivo puro en verdeos invernales, o como componente gramínea en praderas plurianuales en mezclas con otras especies, y también en mejoramientos de campo natural para aumentar la cantidad y la calidad del forraje que este brinda. Su uso en sistemas agrícolas también juega un rol importante porque es usado con frecuencia en lo que se denomina “cultivos de cobertura” como forma de mantener el suelo cubierto entre dos cultivos de verano, y así mitigar los efectos negativos de la erosión del suelo, el lavado de nutrientes, y contribuir al control de malezas.

Entre otras características, el raigrás posee una alta capacidad de resiembra al mantener semillas en latencia en el periodo adverso (verano), y germinar y reimplantarse nuevamente cuando las condiciones son más adecuadas a fines de verano. Esta cualidad es buscada porque va a permitir mantener a la especie durante varios ciclos de producción en los sistemas pastoriles, si se maneja adecuadamente. Por otro lado, esta característica también lo convierte en una de las principales malezas en cultivos de invierno, especialmente en rotaciones cultivos-pasturas.

En este contexto existe en el mercado una abundante oferta de cultivares de raigrás que se adaptan a manejos y ambientes de producción diferentes, los cuales, dependiendo del material en cuestión, tienen su aporte de forraje concentrado en invierno e inicios de primavera, o extienden su aporte hasta fines de primavera. El nivel de ploidía de los cultivares es importante, porque también explican parte los comportamientos de los cultivares y sus requerimientos en relación con la humedad y fertilidad del suelo, siendo los tetraploides más exigentes que los diploides. Las características esperadas de un cultivar para el éxito de la resiembra son, que produzca cantidad suficiente de semilla, de buena viabilidad y con cierto grado de dormición en sus semillas para que logren sobrepasar el verano. En relación a la ploidía, los tetraploides producen menos macollos lo que redundaría en menor densidad de panojas y menor producción de semillas, aunque de mayor tamaño. Sin embargo, las evaluaciones y descripciones varietales se basan principalmente en la producción de forraje, ciclo a floración y sanidad, y en menor medida, en la producción de semillas. Debido a esto, no se sabe si existen diferencias entre cultivares en relación con la capacidad de resiembra natural y características asociadas, lo que podría

determinar que algunas variedades sean mejores que otras para los usos mencionados anteriormente.

Con el fin de generar información a nivel país sobre esta temática y poder responder a estas interrogantes, este trabajo pretende estudiar diferencias varietales en factores vinculados a la resiembra. Específicamente los objetivos son: 1) determinar diferencias varietales en producción de semillas y sus componentes de rendimiento, 2) determinar diferencias varietales en nivel de dormición inicial de semillas y su evolución con el tiempo para nueve cultivares distintos, y 3) determinar la evolución de la dormición de semillas en un ensayo parcelario a campo de persistencia con dos cultivares de ciclo contrastantes (E284 e INIA Camaro) durante el verano.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE *Lolium multiflorum* var. LAM

2.1.1 Origen y descripción botánica.

El raigrás (*Lolium multiflorum* L.) es originario de Europa, áreas templadas de Asia y del norte de África. En nuestro país se encuentra naturalizado y es normal encontrarlo en nuestros campos apareciendo de manera espontánea. Presenta una serie de particularidades que hacen efectiva su adaptación entre las cuales se destacan la buena producción de semilla y la excelente resiembra natural de las mismas (Gigón et al., 2017). En Uruguay, no hay datos concretos de cuando ingresó al país, pero se comienza a cultivar como tal a fines de la década del 1940 cuando en INIA La Estanzuela se obtiene el primer cultivar (E284) que actualmente sigue en producción y es el más difundido a nivel país (Henry, 1952)

Se trata de plantas herbáceas, anuales e invernales, alógamas, florece desde mediados de primavera. Es un género perteneciente a la familia de las Poaceae (gramíneas), se caracteriza por su capacidad de formar “matas” debido a su crecimiento cespitoso. Presenta un sistema radicular adventicio y fasciculado otorgándole características favorables como, por ejemplo, un mejor aprovechamiento del agua retenida en los primeros centímetros de suelo. Las plantas pueden alcanzar el metro de altura (variando entre 20 y 100 cm), compuestas por láminas que van de 15 a 30 cm de longitud. Esta especie es glabra y es característica por presentar un color verde intenso y brillante en el lado inferior de la lámina. Cuando la planta pasa al estado reproductivo la inflorescencia está compuesta por espigas dísticas alcanzando una longitud de 28 cm, a su vez tienen dos series en lado opuesto de espiguillas multifloras (más de 10 flores) solo con la gluma, la única que posee las dos glumas es la espiguilla terminal. Las lemas presentan aristas en la mayoría de los casos, aunque también existen excepciones que no la tienen (Gigón et al., 2017). El peso de 1000 semillas es variable según se trate de una variedad diploide o tetraploide, existe una variación de entre 1,3 y 2,6 gramos para los primeros y 3,3 a 4,7 gramos para los segundos (Amigone y Tomaso, 2006, Costa et al., citados por Escalante Barreras, 2007).

2.1.2 Variabilidad genética asociada al nivel de ploidía y tipos de raigrás.

Aunque la especie es naturalmente diploide ($2x = 14$), en el área del fitomejoramiento se ha utilizado la técnica de duplicación cromosómica, donde el resultado final son individuos tetraploides ($4x = 28$). Este fenómeno genera en la planta una serie de cambios, entre ellos, el aumento del tamaño y contenido

celular. A su vez, dicha modificación genera un menor número de macollos, pero de mayor tamaño, de hojas más anchas que le otorgan mayor vigor a la hora de rebrotar y son de semillas más grandes, siendo más productivos en ambientes sin limitantes, en cambio, los diploides se presentan como plantas más rústicas con menores exigencias ambientales (Ayala et al., 2010, Otondo et al., 2021). Ejemplos de cultivares diploides son INIA Bakarat, INIA Camaro, Cambará y E284 y tetraploides INIA Escorpio y Winter Star 3 (Ayala et al., 2010).

Algunas diferencias de los cultivares tetraploides en relación con los diploides son, entre otras, una mayor producción de forraje en cantidad y calidad, siendo más apetecibles por los animales manteniendo la calidad en primavera y producen semillas de mayor tamaño, confiriéndole mayor vigor inicial. En relación con la producción de materia seca, se conforma con un menor número de macollos, pero de mayor peso, generando que no haya grandes diferencias con los diploides (Carámbula, 2003). También la producción de semilla es diferente entre ellos, así lo afirma Tonetto et al. (2011) donde en un trabajo evaluaron el rendimiento en semilla de cultivares diploides y tetraploides con igual número de cortes, y comprueban que la producción es mayor en los primeros. Por el contrario, reúnen también ciertas desventajas, como ser, más exigencia en fertilidad del suelo, menor producción de semilla y de pobre resiembra natural comprometiendo su persistencia. Si se lo destina a reserva forrajera, el periodo de pre-marchitado es mayor debido a las paredes celulares más gruesas (Carámbula, 2003).

En cuanto a características vegetativas y de pastoreo, Krolow et al. (2011) encontraron que los genotipos tetraploides eran en promedio más macolladores que los diploides, dicha diferencia era de 2,67 veces más de macollos. También demuestran que el macollaje en los diploides es de menor duración que los tetraploides cuando no se elimina el meristemo apical, por lo tanto, completan su ciclo de manera anticipada para emitir rápida las inflorescencias de manera de asegurar una producción de semilla que le permita una buena resiembra y persistencia. De esta manera, los tetraploides invierten más recursos a la generación de macollos alargando la etapa vegetativa, impactando tanto en la producción de forraje como en el periodo de utilización de la pastura. Si bien estos resultados son elocuentes, hay que destacar que fueron basados solo comparando dos cultivares (un tetraploide vs un diploide) y que la capacidad de macollaje es intrínseca de cada cultivar.

Por su parte, con relación al comportamiento en pastoreo, estos autores destacan que los genotipos tetraploides presentan menores aumentos de tallos cuando son sometidos a cortes y que a lo largo del ciclo son más aceptados por

los animales debido a la menor relación tallos/forraje total. Por lo expuesto anteriormente, la producción de forraje total es superior en los tetraploides que, en los diploides, donde los primeros son más estables emitiendo hojas conforme avanza el ciclo de producción, contrariamente a lo que ocurre en diploides donde la producción de hojas cae en la medida que avanza el ciclo (Andres, 2016, Beffart Aiolfi et al., 2021). A pesar de esto, mirando específicamente variables fisiológicas de la planta no es posible detectar diferencias entre ellos (Oliveira et al., 2014). Considerando el mayor tamaño de semilla de los tetraploides y por ende su mayor vigor inicial es posible que el periodo siembra-primer pastoreo sea más corto que en los cultivares diploides, pero existe evidencia que esto no es así, y que en ocasiones estos últimos logran pastoreos más tempranos (Beffart Aiolfi et al., 2021).

Al tratarse de una especie alógama, en la naturaleza ocurren cruzamientos entre especies anuales y perennes que generan gran variabilidad de individuos heterocigotos. Estos cruzamientos también son realizados por el fitomejorador con el fin de obtener variabilidad de adaptación. Algunos de los tipos de raigrás que surgen de dicha práctica podrían describirse como:

i) Raigrás anual tipo westerwoldicum (*L. multiflorum* var. *westerwoldicum*), son los considerados anuales estrictos y se describen por no poseer requerimientos de frío para florecer por lo cual independientemente de la fecha en que se siembra, la gran mayoría de los macollos van a florecer para luego morir en el verano, siendo más productivos en otoño e invierno. El mejoramiento genético ha generado materiales tipo westerwoldicum de ciclo largo, permitiendo aumentar la calidad de los pastoreos tardíos con dichos cultivares. Algunos cultivares de este tipo son E284, Winter Star 3 y Cambará (Gutiérrez y Calistro, 2013). Algunas diferencias con los tipos italianos es que los raigrases westerwoldicums son más altos y macolladores, presentan alta digestibilidad y palatabilidad. La persistencia más allá del año de siembra tiende a ser menor debido a que florecen por completo (Humphreys et al., 2010). También estos raigrases acortan su ciclo en la medida que se atrasa la fecha de siembra generando menor aprovechamiento de forraje (Ayala, 2012).

ii) Raigrás anual tipo multiflorum o italiano (*L. multiflorum* sub sp. *italicum*), estos raigrases a pesar de ser anuales tienen la capacidad de comportarse como bianuales en ciertas situaciones de producción, pero en nuestro país debido a las condiciones calientes del verano generalmente no sobreviven más de dos años. Esto es porque tienen requerimientos de frío, lo cual los últimos macollos generados en fin de invierno y primavera no van a florecer teniendo la posibilidad de pasar al verano en estado vegetativo. Estos materiales son más productivos

desde mediados de invierno en adelante y la producción total de forraje puede ser mayor que los del otro grupo. Estos raigrases no acortan el ciclo como los westerwoldicum cuando se atrasa la fecha de siembra, lo que implica que la floración también se atrase y brinde pastoreos de alta calidad entrada la primavera, sumado a que presentan mayor relación hoja:tallo. Ejemplos de cultivares dentro de este grupo son INIA Titán e INIA Escorpio (Gutiérrez y Calistro, 2013, Ayala et al., 2010, Ayala, 2012). Comparando este grupo con raigrás perenne, presenta mayor potencial de rendimiento y un mayor crecimiento inicial debido al excelente vigor inicial de las plántulas, de esta manera cubre antes el suelo aprovechando eficientemente los recursos. Por el contrario, presenta menor persistencia y tolerancia al estrés (Humphreys et al., 2010).

2.1.3 Disponibilidad de cultivares en Uruguay.

En el mercado uruguayo se ofrece una gama amplia de cultivares, reflejando la gran importancia de esta especie. Existen 67 cultivares inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares, siendo 12 de origen nacional y 55 son extranjeros. En el 2021, hubieron 38 cultivares en la Evaluación Nacional de Cultivares, de los cuales 23 son tetraploides y 15 son diploides.

En el año 2021, el área de semilleros de raigrás fue de 12.091 has, y se comercializó en el mercado local un total de 9.114.519 kg de semilla, siendo el 92% de origen nacional. Ese volumen total de ventas en comparación a los últimos 5 años presenta un aumento del 3,7%, siendo el promedio de esos años 8.789.025 kg. El volumen comercializado corresponde en su mayoría a semilla de cultivares de estatus público y en menor medida los protegidos, presentando una relación 70:30 respecto al total que se mantiene en los últimos 5 años. A pesar de la oferta varietal, el 49% de la semilla comercializada en 2021 corresponde al cultivar público E284. Por último, existe un amplio predominio de uso de cultivares del tipo westerwoldicum respecto a los italianos considerando el número de cultivares comercializados, existiendo una amplia dominancia de uso de los cultivares diploides (INASE, 2021).

2.2 EL RAIGRAS EN LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS,

2.2.1 Raigrás en los sistemas agrícolas.

Los cultivos de cobertura son usados en los sistemas de agricultura con siembra directa para lograr mantener el suelo cubierto durante el invierno con el fin de evitar o disminuir la erosión del suelo. Además, son utilizados con otros fines, como por ejemplo aumentar las opciones de control de malezas, mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo, entre otros (Siri-Prieto y Ernst, 2011).

En este sentido, el raigrás aparece como una posibilidad de ser usado como cultivo de cobertura debido a ser una especie que se adapta a la mayoría de los suelos del país, a la disponibilidad de semillas de bajo costo por sembrarse a baja densidad, su amplio rango de fechas de siembra y su adaptabilidad a diferentes métodos de siembra.

En cuanto a su contribución como cultivo de cobertura, en la EEMAC se han evaluado diferentes largos de barbechos usando al raigrás, en el cual se pudo demostrar que, en los estados iniciales de crecimiento, la soja era 4 cm más alta en aquellas situaciones que había más porcentaje de residuos en el suelo. También en el mismo trabajo se evaluó el impacto en el rendimiento de soja, donde no encontraron diferencias explicadas por el uso de la cobertura, sino que se explicaban por el efecto año (Siri-Prieto y Ernst, 2011). Al igual que lo publicado por Caviglia et al. (2013) demostraron que el rendimiento del cultivo de soja no se aumentaba por usar cultivo de cobertura gramíneo, y tampoco en el maíz. Por el contrario, existen estudios que constatan efectos negativos. Martínez-Feria et al., citados por Barberousse y Sanguinetti (2020), señalan que el efecto de retrasar la fecha de siembra sumado a los efectos alelopáticos son la causante de la disminución del rendimiento usando al raigrás como antecesor. Se ha visto que el raigrás desarrolla un mayor crecimiento radicular en desmedro del crecimiento aéreo explorando las capas más profundas del perfil del suelo, impactando en la disponibilidad de agua para el cultivo de maíz, y el efecto es aún más notorio en años con escases de precipitaciones (Sjoerd y Curran, citados por Ferber, 2016). En cambio, hay reportes benéficos, tal es así que Dutra de Moraes et al. (2013) demostraron que el raigrás era la cobertura que reportaba superioridad en algunos componentes del rendimiento de maíz, explicado por la disminución de interferencia de malezas.

Por otro lado, los cultivos de cobertura son una herramienta complementaria para el control integrado de malezas. Dicho rol radica en que al estar creciendo la cobertura no permite el crecimiento de malezas debido a la

competencia por recursos como agua, luz y nutrientes, además de generar cambios en las fluctuaciones de temperatura del suelo. También se destaca el efecto de la alelopatía presente en los residuos como forma de suprimir nuevas emergencias de maleza. Balbinot Jr. et al., citado por Dávila Malzoni y Elduayen Rostan (2015) mencionan que debido a la alta relación carbono/nitrógeno que tiene la planta, es capaz de estar más tiempo en descomposición y, por tanto, emitiendo compuestos alelopáticos encargados de impedir por al menos un tiempo la germinación de nuevas semillas de otras plantas o disminuir su crecimiento. Sumado a esto es importante que la cobertura sea buena productora de biomasa para disminuir la presión de las malezas. El raigrás no es de las mejores coberturas en cuanto a producción de biomasa, pero Teasdale et al., citado por Ferber (2016) menciona que su éxito en la supresión de las malezas es debido a características de crecimiento ya que es capaz de generar una cobertura vegetal bien expandida dificultando la llegada de luz a la superficie del suelo. En adición a esto último, se ha visto que la población de malezas se reduce en cuanto a número de especies y peso seco de las mismas, en las situaciones en las que se usaba al raigrás (Musunda et al., 2015).

A pesar de que el raigrás aparece como una opción de usarlo como cultivo de cobertura, en los últimos años se ha constatado una disminución de su uso con tal fin, debido fundamentalmente a la aparición individuos resistentes a glifosato, aunque también existen reportes y denuncias sobre casos de poblaciones resistentes a algunos gramínicos (inhibidores de la enzima Acetil Coenzima Carboxilasa, ACCasa) y también a iodosulfuron (inhibidor de la enzima Acetolactato Sintasa, ALS) (Rossi et al., 2019).

Haciendo referencia a los efectos en las propiedades del suelo, Restovich y Andriulo, citados por Restovich et al. (2011) en Argentina, evaluaron diferentes tipos de coberturas en relación con el stock de carbono del suelo, no encontraron diferencias en raigrás con respecto a otras coberturas, pero comparado con no hacer un cultivo de cobertura, el balance de carbono orgánico del suelo adicional es de $1,6\text{Mg ha}^{-1}$. Estos autores, a su vez, encontraron diferencias en el nivel de nitrógeno del suelo, siendo el raigrás el que arrojó los menores valores de nitrógeno en suelo, siendo los rendimientos en el maíz posterior también menor con relación a las demás coberturas (otras gramíneas, vicia y brásicas). Similares resultados fueron reportados en nuestro país por Ernst y Siri-Prieto (2012) en un experimento de cuatro años, donde evaluaron diferentes cultivos de coberturas sobre las propiedades químicas, la dinámica del agua y la cantidad de nitrógeno a V6 en el cultivo de maíz siguiente, los resultados mostraron que el mayor rendimiento de maíz se lograba cuando no se hacía cultivo de cobertura, y que

caían cuando se hacían gramíneas, entre ellas, el raigrás, debido fundamentalmente a la menor disponibilidad de agua y nitrógeno en comparación a leguminosas o barbecho limpio.

El raigrás también es una maleza problemática para cultivos de invierno, especialmente para los cereales por ser de similares características, ambas son gramíneas, invernales y de ciclo anual. Según Ríos et al. (2005), en un estudio realizado en nuestro país sobre las comunidades de malezas, el raigrás fue la especie que apareció con más frecuencia (76,6%), siendo una de las principales malezas tanto en barbechos invernales como en los cereales de invierno debido a su naturalización en nuestra región (Catullo et al., Istilart, Scursoni, citados por Papa y Tuesca, 2013). Al ser una especie muy adaptada a nuestras condiciones, tiene la capacidad de colonizar los ambientes y en estado de semilla poder sobrevivir en el suelo durante dos años en promedio. Esa semilla que cae al suelo presenta cierto nivel de dormición por lo cual no va a germinar de inmediato, sino que lo hará cuando lleguen las condiciones de humedad y temperatura a fin del verano. Esto genera que ocurran germinaciones escalonadas ya desde fin de verano, durante el otoño y también avanzado el invierno, aunque el mayor porcentaje de los nacimientos se da en el otoño (Rossi et al., 2019).

Otra característica que lo convierte en maleza es la capacidad que tiene de producir semillas. Rossi et al. (2019) afirman que cada planta produce entre 1000 y 5000 semillas. Tal como expresa Yannicari, citado por Gigón et al. (2017), la producción de semilla por planta está entre valores de 1500 a 7500. Al final de la primavera comienza la maduración de las semillas y su dispersión.

De acuerdo con Vigna et al. (2013), el principal problema de raigrás se da en chacras de trigo y cebada compitiendo por los recursos como luz, agua y nutrientes e incluso convertirse en problemas para la siembra de cultivos de verano, debido a problemas de control del herbicida.

La interferencia de raigrás generada a los cereales de invierno es notoria ya desde etapas iniciales del cultivo, teniendo efecto negativo en la capacidad de macollaje de los cultivos, altura de planta y peso seco de las mismas, y que finalmente impactarán en el rendimiento final del cultivo, siendo esperable que estos parámetros disminuyan. Tal es así, que diversos trabajos encontraron que la disminución del macollaje en trigos sensibles a la interferencia era del entorno al 30%. A su vez se afecta la altura y el peso seco de trigo creciendo en presencia del raigrás. Los componentes del rendimiento que se ven más afectados son el número de espigas y el número de granos por planta, siendo esta disminución del 20% y 27%, respectivamente (Bosch Rodríguez y Ugarte Pollio, 2012, Briosi

Martínez y Dotti Rodríguez, 2016). En la misma línea, se demostró que la presencia del raigrás durante el cultivo de trigo reducía el rendimiento de trigo en $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ por planta m^{-2} de raigrás y la disminución del rendimiento en grano es importante, alcanzando valores entre 48% y 79%. También se afectan parámetros de calidad del grano impactando finalmente en el resultado económico (Giménez et al., 1992, Rouiller Borja y Scaglia Carmona, 2011). Similares resultados fueron reportados en el cultivo de cebada, donde existe una notoria merma del rendimiento, variando sensiblemente entre cultivares, pero establecen que van desde 24 a 47% de pérdida. También en otro trabajo se estableció que en la medida que el control se haga cuando la maleza tiene mayor desarrollo y se avance el estado fenológico del cultivo, hay una pérdida de rendimiento en cebada cervecera en 900 kg ha^{-1} en comparación a si se controla en estados tempranos (Giménez et al., 1992, Chiola Ríos y Mora González, 2011).

La problemática del raigrás aumenta en las poblaciones que han adquirido resistencias a herbicidas, como el glifosato, y también a herbicidas selectivos para los cereales de invierno que se utilizan en la etapa de cultivo, como por ejemplo los inhibidores de la ALS y ACCasa (Vigna et al., 2013). Cuando se trata de poblaciones con resistencia del tipo múltiple, las posibilidades de control se reducen, impactando en el rendimiento del cultivo, y generando un aumento de los costos de producción (Gazziero et al., 2013, Rossi et al., 2019). En apoyo a esto, hay que mencionar las principales características de la especie que favorece la aparición de resistencia, algunas de ellas son, la buena adaptación al sistema de siembra directa, buena producción de semilla, y ser alógama, confiriéndole capacidad de cruzamientos entre diferentes individuos (Ríos et al., 2013).

2.2.2 Rol y usos en los sistemas ganaderos.

El raigrás es una especie que entra en los sistemas ganaderos con mucha frecuencia, siendo un componente de la alimentación animal sobre todo en el periodo invierno – primavera, generalmente asociado a escases de forraje. A su vez es una de las forrajeras invernales más difundidas en el país con aproximadamente 500.000 ha en base a los kilos de semilla comercializada (INASE, 2021). Presenta una serie de características a destacar como favorables, entre ellas son: i) se siembra con pocos kilos y de bajo costo; ii) adaptada a varios métodos de siembra; iii) cantidad y calidad de forraje y iv) resistente a pulgón y no se afecta tanto por roya (Pauletti, 2015). Además, Carámbula (2003), agrega otras características a destacar, su rusticidad frente al diente del animal debido a que genera buen piso, plantas muy macolladoras y de buen rebrote. En cuanto a sus características nutritivas hay que destacar su buen

valor nutritivo, es de alta palatabilidad, siendo de las forrajeras más apetecibles por el ganado. Sus tejidos se encuentran bien balanceados a diferencia de otros verdes invernales. Su uso principalmente es como verdeo de invierno ya sea puro o en mezclas con otras especies, buscando complementariedad de ciclos y entregas de forrajes. También puede ser incluido como componente de pasturas de corta y de larga duración, buscando la rápida entrega de forraje que este brinda frente a las especies perennes (Carámbula, 2002). Hay que tener en cuenta ciertas consideraciones a la hora de establecer una mezcla ya que, por ejemplo, cuando se incluye un raigrás de ciclo largo como INIA Titán se puede perjudicar a las demás especies acompañantes y comprometer la persistencia de la pradera (Formoso, 2012). Otro uso posible del raigrás es la elaboración de reservas forrajeras, ya que reúne una serie de características favorables (nutritivas y organolépticas). También, es considerada una especie mejoradora de campo natural (Carámbula, 2002).

El rol del uso del raigrás va a ser dependiente de las necesidades de forraje del sistema, ya que es una especie con producción de forraje invierno-primaveral, donde en la producción otoñal es superado por las avenas y el periodo siembra- primer pastoreo es más largo en raigrás. A pesar de las bajas temperaturas invernales es la que presenta la mayor producción, superando a la avena en un 40% (Formoso, 2009). Además, la elección del cultivar va a incidir en la entrega de forraje, ya que el uso de una variedad como E284 considerada como precoz y de ciclo corto en invierno produce aproximadamente 3500 kg ha⁻¹ de masa seca (MS), INIA Titán de producción más tardía y ciclo largo produce alrededor de 3000 kg ha⁻¹ de masa seca (MS), hecho que se revierte más entrada la primavera donde este último supera los 5000 kg ha⁻¹ de masa seca (MS) y E284 ronda los 3000 kg ha⁻¹ de masa seca (MS) (Carámbula, 2002, Perrachón, 2009). En lo que respecta al rendimiento anual de forraje en verdeos puros, algunos cultivares recientes como INIA Camaro (2x), INIA Escorpio (4x), INIA Bakarat (2x) produjeron 12, 11 y 17% más de forraje que el testigo E284 (2x), siendo estos valores de 11079, 10980 y 11574 kg ha⁻¹ de masa seca (MS), respectivamente. Hay que mencionar que estos datos fueron el resultado del promedio del 2009 al 2012 en condiciones experimentales (Gutiérrez y Calistro, 2013).

En la misma línea, Pedrozo Altesor et al. (2018) evaluando producciones de forraje de diferentes verdeos de invierno, lograron valores entorno 6900 kg ha⁻¹ de masa seca (MS) en raigrases puros diploides, siendo similar a otras opciones de verdeos. En el mismo trabajo se midieron las ganancias de peso vivo de animales vacunos, alcanzado valores promedio de 2,36 kg por animal y por día,

los autores comentan que en comparación a otros trabajos son altas y atribuyen la superioridad a la alta oferta de forraje manejada. En otro experimento de similares características, también usando los mismos cultivares, pero evaluando la fertilización con nitrógeno, se pudieron establecer rendimientos de forraje de entre 7500 y 5200 kg ha⁻¹ de masa seca (MS) según sea fertilizado o no, respectivamente. Los datos de ganancia diaria por animal fueron inferiores a los reportados por Pedroso et al., siendo de 1,27 kg por animal y por día a razón de 5,5% de asignación de forraje (Berrutti Zorrilla de San Martín et al., 2018).

Comparando producciones en verdeos de raigrás (raigrás común vs Bill Max, este último tetraploide), Gorelik Zonis y Ré (2021) en la provincia de Entre Ríos obtuvieron rendimientos de materia seca de aproximadamente 4527 y 4659 kg ha⁻¹ de masa seca (MS), respectivamente. Las ganancias medias diarias de los terneros estuvieron en el eje 1,16 kg día⁻¹, manejando cargas de 3,15 animales ha⁻¹, arrojando como resultado final una producción de carne por hectárea de 440 kg. Estos autores comprobaron la superioridad del raigrás frente a la avena, ya que se observó un 18% más de ganancia diaria de los animales y a su vez soportó un 40% más de carga animal, a costas de solo un 15% más de producción de pasto.

A lo que refiere a pastoreos de coberturas de raigrás en sistemas ganaderos-agrícolas del este del país, Rovira et al. (2014) mencionan que es capaz de lograr en terneros ganancias diarias por animal de alrededor de 1,345 kg día⁻¹ y en corderos de 0,267 kg día⁻¹, con dotaciones de 2,5 y 12,5 animales ha⁻¹ respectivamente y producciones de forrajes de 3821±1378 kg ha⁻¹ de masa seca (MS) en los meses agosto-setiembre.

Ahora bien, a lo que respecta a producción de forraje y animal en promociones de raigrás, son claramente inferiores a las de los verdeos puros, pero no dejan de ser buenas para cumplir ciertos objetivos de producción, como, por ejemplo, adelantar el entore de vaquillonas a los 15 meses de edad. Besteiro (2018) manejando cargas de 3,1 y 4,3 animales ha⁻¹ constato producciones de forraje promedios entre los meses de marzo a octubre similares de 2092 y 1978 kg ha⁻¹ de masa seca (MS), respectivamente; consecuentemente, las terneras lograron ganancias medias diarias muy similares de 0,73 y 0,65 kg día⁻¹ en los meses de invierno, y al comenzar la primavera las ganancias se topeaban en 1,4 kg día⁻¹. Cabe destacar que, en dicho trabajo, la producción de carne por hectárea fue superior en la carga alta en 73 kg.

Por último, existe la alternativa de utilizarla como especie mejoradora de campo natural por las cualidades mencionadas más arriba, aunque su uso a

veces es cuestionado por ser una planta anual en el cual muere en la primavera dejando espacios vacíos en el suelo para que puedan ser colonizados posteriormente por malezas, perdiendo estabilidad en el sistema (Pereira, 2018). Este manejo es usado en los sistemas más extensivos, debido a que reúne características agronómicas favorables mencionadas más arriba. El objetivo clave de instalar un mejoramiento es aumentar la productividad del campo natural en cantidad y calidad, pudiendo mantener la carga del sistema, volviéndolo más eficiente. El aumento de la producción de materia seca es de entre 50 y 100% frente al mismo campo sin realizar el mejoramiento, dependiendo de especies introducidas, fertilización y tipo de suelo (Barreto y Bermúdez, 2017). Tiene la capacidad de soportar siembras al voleo e intersembras sobre suelos compactados, y a su vez, ser capaz de competir eficazmente con las pasturas naturales. A pesar de ser una planta anual, su persistencia es muy buena si se la deja semillar debido a su excelente resiembra natural (Bermúdez et al., 1996). El éxito de esta práctica se mejora con aumentos en la disponibilidad de nitrógeno, la cual podría darse por dos vías: i) la inclusión de alguna especie leguminosa debido a que estas fijan nitrógeno atmosférico y ii) incorporando fertilizante al suelo. Ambas opciones mejoran la fertilidad del suelo que finalmente podrá utilizar el raigrás para su crecimiento y desarrollo, y luego del tercer o cuarto año del mejoramiento, es donde comienza a realizar los mayores aportes de forraje por parte del raigrás (Bermúdez y Ayala, 2005).

2.3 RAIGRÁS EN SISTEMAS DE RESIEMBRA.

Como se mencionó anteriormente, la forma de reproducirse es a través de semillas, las cuales cuando culmina el ciclo son diseminadas, caen al suelo y pasan a formar parte del banco de semillas para el siguiente año. La promoción de raigrás consiste en realizar una serie de prácticas que permitan a la especie establecerse todos los años a partir del banco de semillas del suelo, ya sea en un campo natural como en praderas artificiales ya implantadas. De esta manera, esta práctica mejora la productividad del sistema porque brinda ciertas ventajas como, por ejemplo, mejorar el aporte en cantidad y calidad de forraje para los animales (De la Vega, s.f.)

La promoción de raigrás en los sistemas de resiembra natural está basada en la presencia de semillas en el suelo, donde una vez alcanzada la estación de crecimiento favorable comenzarán los procesos de germinación y establecimientos de las plántulas. Para aumentar su presencia en el banco de semillas, es necesario primero, contar con un buen stand de plantas y luego una correcta semillazón de las mismas. Siguiendo en la línea del tiempo, luego de que ocurrió ese proceso, hacia fin de verano es conveniente realizar un control

del tapiz de manera de disminuir la competencia con la vegetación presente en el campo y de esa manera favorecer la germinación de las nuevas plantas (Scheneiter, s.f). Hay que considerar que luego de que se tiene la presencia de esta especie en una proporción adecuada del campo es posible mantenerla en el tiempo aplicando ciertas prácticas de manejo, donde no es necesario un uso importante de insumos (Bruera y Fernández, 2018). Básicamente, los procesos más importantes que hay que considerar son: i) el acondicionamiento del tapiz, ii) manejo de la fertilización, iii) presencia de semilla en el suelo. Otros procesos que ayudan a la promoción son el manejo del pastoreo y el cierre de potreros para semillazón.

2.3.1 Manejo del pastoreo, impactos en la semillazón.

El pastoreo es una práctica que impacta directamente en la cantidad de semillas que caen al suelo y que luego mediante resiembra natural volverán a generar nuevas plantas. Según Danelón et al., citado por Berastegui (2017), para lograr buenos resultados la producción de semilla debería ser en el eje de las 17 semillas viables por planta que deberán caer al suelo en el momento de la semillazón. Esta especie tiene como característica que se adapta a manejos de pastoreos rotativos e intensos. Tal es así que, en Argentina Bruera y Fernández (2018) evaluaron que la producción de semilla no se veía afectada por el método de pastoreo y si se afectaba el número de espigas producto de un menor número de macollos fértiles. En relación a la intensidad de pastoreo, un trabajo que evaluó los efectos de métodos e intensidades de pastoreo distintos sobre la resiembra de raigrás, se demostró que la frecuencia con que aparecían las inflorescencias está directamente relacionado a la intensidad de pastoreo y no con el método del mismo, de tal forma que las intensidades moderadas arrojaron mayores consumos de macollos que finalmente no lograran completar su ciclo y las intensidades bajas lograron mayores número de macollos (217 y 677 macollos m⁻²) respectivamente. También se evaluó el número de plantas que eran fruto de la resiembra y concluyen que la intensidad de pastoreo es la principal variable en explicar el conteo de las plantas del siguiente año (Pacheco et al., 2008). El hecho de manejar mayores alturas del forraje debido a menores intensidades del pastoreo garantiza una buena producción de semillas que finalmente caerán al suelo para volver a sembrarse, reduciendo así los costos de volver a regenerar la pastura. Así mismo, si bien los cortes favorecen la generación de nuevos macollos, es posible que la producción final de semillas disminuya debido a una baja de la proporción de macollos fértiles, donde con más de 3 defoliaciones se estaría afectando la producción final de semillas (Pereira, 2012).

2.3.2 Acondicionamiento del tapiz, semilla y fertilización.

El acondicionamiento del tapiz es necesario para favorecer la promoción ya que se está afectando a varios procesos, entre los más importantes se puede destacar la disminución de la competencia y la mejora de la calidad de la luz que llega a la superficie del suelo. Los métodos empleados más comunes son el pastoreo intenso, el corte mecánico y el uso de herbicidas, siendo interesante la aplicación de glifosato solo o en mezclas en los primeros años de la promoción, pero que luego debe de reemplazarse por pastoreos intensos para no alterar demasiado la composición botánica del tapiz (De la Vega, s.f.). Por su parte, el éxito que tenga la práctica de la promoción con especies introducidas como el raigrás va a depender de cuánto tiempo (años) está presente en el campo produciendo, dicha permanencia va a depender del manejo que se haga (favorecer la producción de semilla que cae al suelo) y de la capacidad de resiembra que tenga el cultivar. Si no se tiene al raigrás en el campo, es necesario realizar una siembra al tapiz a razón de 20 kg ha⁻¹ en otoño temprano (desde mediados de marzo y abril) para luego favorecer el stock de semillas en el banco del suelo.

En cuanto a la fertilización cabe mencionar que es una herramienta indispensable para lograr el éxito de la promoción, sobre todo con nitrógeno y fósforo aplicado en otoño cuando comienza a crecer el raigrás. Si bien puede ocurrir un aumento de la disponibilidad de nitratos producto de la descomposición de los residuos, no deja de ser limitante ya que luego, la disponibilidad de nitratos en invierno disminuye por motivo de una menor mineralización debido a que los microorganismos del suelo bajan su actividad. Hagen (2012) evaluó la fertilización química y el impacto en el potencial productivo de promociones de raigrás y concluyó que dosis en torno a 70 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico lograba incrementos de casi 20% de productividad. En la misma línea, Pizzio et al., citado por Berastegui (2017) lograron incrementos adicionales de 1500 kg ha⁻¹ de masa seca (MS) por agregar 70 kg ha⁻¹ de urea frente al testigo no fertilizado.

2.4 MECANISMOS DE PERSISTENCIA: PRODUCCIÓN DE SEMILLA Y DORMICIÓN.

2.4.1 Producción de semillas.

El raigrás anual se reproduce y propaga por semillas que caen al suelo y permanecen allí hasta que comiencen las condiciones para iniciar la germinación. En un trabajo realizado por Do Canto (2019), se evaluó la capacidad de resiembra de dos cultivares diploides de ciclo contrastante donde las variables que explicaron la mayor correlación con el número de plantas y la cobertura de suelo al otoño siguiente fueron el peso de mil semillas y la producción total de semilla (0,55 y 0,53 respectivamente). En otro trabajo, Humphreys et al. (2010) menciona que los cultivares westerwolds tienen una mejor capacidad de resiembra. La producción de semilla presenta variaciones en cantidad dependiendo de los manejos y del año en cuestión. La cantidad de semilla cosechable que es capaz de producir en variadas situaciones va desde los 200 a más de 1000 kg ha⁻¹ (Pristch y Rosell, 1982). De igual manera, Rossi (2017) sostiene que los rendimientos varían según sean cultivares westerwolds o italianos, siendo de alrededor de 1000 kg ha⁻¹ y 600 kg ha⁻¹, respectivamente cuando se trata de producciones exclusivamente de semilleros. También Humphreys et al. (2010) afirman que en Canadá es posible lograr rendimientos de entre 213 kg ha⁻¹ y 1210 kg ha⁻¹ en raigrases westerwolds. Por su parte, Do Canto (2019) simulando manejos de resiembra encontró que la producción total de semillas que cae al suelo varió desde 2175 kg ha⁻¹ a 679 kg ha⁻¹ explicado fundamentalmente por variaciones en el número de panojas m⁻² y peso de mil semillas (PMS), según se trate de cierres tempranos o tardíos respectivamente. Experimentos en promociones de raigrás bajo pastoreo en Argentina reportan producciones de semilla en el eje de los 390 kg ha⁻¹ y 460 kg ha⁻¹, siendo el extremo superior el resultado de no pastoreo, pero sin diferencias estadísticas entre ellos (Bruera y Fernández, 2018). También estos autores citan a Bertin, quien reporta una producción de semillas del testigo sin pastoreo de 431 kg ha⁻¹. En cambio Tarnonsky (2018) obtuvo rendimientos de semillas entre 314 y 718 kg ha⁻¹ dependiendo del año, siendo las mejores producciones cuando se manejan cargas medias. Este mismo autor, concluye que el peso de mil semillas no se ve afectado por el efecto carga y tampoco por el efecto año, tomando valores de 1,7 a 1,9 g.

2.4.2 Viabilidad de semillas, dormición y germinación.

La viabilidad de una semilla hace referencia a la capacidad de germinar y dar origen a una nueva planta en condiciones ambientales normales. Uno de los métodos para evaluar este parámetro es el test de tetrazolium indicando si el embrión de la semilla es viable o no. La viabilidad descende con el tiempo tal como demostró Eichelberger et al. (2001) que obtuvo porcentajes de viabilidad de semillas de raigrás de 88% inmediatamente de la cosecha y de 77% después de 7 meses de almacenamiento. En cuanto a las semillas en el suelo, la viabilidad de las semillas de raigrás no perdura mucho más de 2 años. Por lo tanto, la presencia en un año es el producto de la cantidad de semilla que cayó al suelo el año anterior. Así lo demuestra Costa (2005) en un estudio donde evaluó la dinámica del banco de semillas de raigrás y afirma que es del tipo transitorio. Esto significa que la resiembra natural de esta gramínea es vulnerable y dependiente de la producción de semillas del año previo. En dicho trabajo, se pudo establecer que a los 732 días había menos del 10% de semillas viables del suelo. En la misma línea, Taberner Palou (1996) encontró que la viabilidad de las semillas luego de ser dispersadas era de 75,8% y a los 150 días dicho parámetro caía notoriamente, afirmando una vez más que el banco de semillas del suelo se renueva prácticamente todos los años.

La dormición es una característica de adaptación y es propia de la semilla que posibilita que la misma no germine en momentos inadecuados, sino cuando encuentre las mejores condiciones ambientales. Las semillas de raigrás presentan el tipo de dormición fisiológica (Baskin y Baskin, 2004) el cual presenta componentes genéticos, ambientales y hormonales, donde la hormona ácido abscísico actúa como inhibidora de la germinación y las giberelinas como promotora (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

Las semillas maduran en primavera estando aun en la planta madre, luego que son dispersadas y caen al suelo. La dormición de las semillas dependerá de la genética, de la posición en la que se encuentren en la inflorescencia y del ambiente (temperatura, fotoperíodo) en el cual se formaron y maduraron. Si la temperatura durante la maduración de las semillas es más baja, la dormición de las semillas será alta, mientras que si maduran en condiciones de alta temperatura, la dormición será menor. También, el momento cuando ocurren bajas temperaturas durante la maduración de semillas puede modificar la dormición: si la baja temperatura ocurre en anthesis, la dormición será menor a que si ocurre en las etapas finales de la maduración (Wisner y Grabe, 1972, Baskin y Baskin, 2004, Lanz y Bolaños, 2019).

El nivel de dormición luego de la dispersión es variable y su variación en el tiempo depende del nivel de los factores ambientales donde los más importantes son la temperatura y la condición hídrica del suelo. La dormición disminuye a nivel de campo durante los meses de verano y parte del otoño, en el cual las semillas cubren sus requerimientos térmicos para levantar la dormición y así germinar con las condiciones favorables del otoño (Benech-Arnold et al., 2000, Supiciche et al., 2018). La dormición se detecta solo desde el momento de cosecha hasta 90-150 días posteriores de la misma, período donde la germinación irá aumentando gradualmente con picos de germinación a los 100 días en promedio (Nakagawa et al., 2000, Jácome et al., 2013, Rodríguez et al., citados por Tarnonsky, 2018).

Con respecto a la germinación de las semillas, este proceso se da cuando las semillas están viables y sin dormición, además que, los factores ambientales promotores de la germinación están presentes. Estos son la luz, las temperaturas alternantes diarias y la disponibilidad de nitratos. Wiesner y Grabe (1972), encontraron diferencias entre cultivares en germinación y nivel de dormición de las semillas y señalaron que se necesitaban 49 días para lograr una germinación exitosa, pero se requirieron 76 días en otro año, confirmando que ocurren diferencias en el nivel de dormición explicada por la temperatura. En otro trabajo que se evaluó la germinación a campo de *Lolium rigidum* Gaud. se demostró que a los 30 días de su dispersión y hasta los 3 meses la germinación iba en aumento, y en otoño registraron valores en el entorno de 30-40% de semillas dormidas. No obstante, el mismo autor encontró que las semillas en el suelo que pasaban al invierno sin germinar, eran capaces de adquirir cierto nivel de dormición secundaria pudiendo incluso lograr nuevas emergencias en primavera (Taberner Palou, 1996).

A lo que se refiere a los cambios de la dormición bajo almacenamiento en seco, Eichelberger et al. (2001) indican que, aunque el porcentaje de germinación luego de los 7 meses de almacenamiento fue superior que a lo obtenido de inmediato a la cosecha (70% y 48%, respectivamente), los resultados mostraron que la pérdida de calidad fisiológica es mayor cuanto más tiempo transcurre de almacenamiento. Las evidencias de germinación en raigrás muestran que en otoño temprano (abril) ya han ocurrido la mayoría de las germinaciones de las semillas presentes en el banco de semillas del suelo, alcanzando valores de más del 90%, y en mayo la presencia de semilla en el suelo es insignificante (Costa, 2005).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

El trabajo se separó en tres experimentos distintos y cada uno busca centrar el estudio en variables diferentes y responder preguntas con los resultados obtenidos. El periodo de evaluación fue de diciembre 2019 a mayo 2020.

El primer experimento tuvo como objetivo determinar si existen diferencias varietales en producción de semillas y en sus componentes de rendimiento. En el segundo experimento, el objetivo fue determinar si existen diferencias varietales en la dormición y viabilidad y su evolución en condiciones de almacenamiento en seco. Por último, el tercer experimento tuvo como objetivo estudiar la evolución de la viabilidad, la dormición y la germinación en condiciones de campo con las semillas enterradas en el suelo.

3.1 MATERIALES VEGETALES Y DISEÑO EXPERIMENTAL DEL SEMILLERO.

La base de este trabajo estuvo centrada en INIA La Estanzuela, Estación Experimental “Dr. Alberto Boerger” situada en el departamento de Colonia, a 25 kilómetros de la capital departamental, sobre el kilómetro 11 de la ruta 50. Los materiales vegetales utilizados fueron un total de 9, en el cual 4 eran diploides y 5 tetraploides, variando algunos de ellos en el largo de ciclo (Cuadro No. 1). El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones y siendo la unidad experimental surcos de tres metros, lo que implica un total de 27 unidades experimentales.

La fecha de siembra fue el 14 de mayo del 2019 con una densidad de siembra para materiales diploides de 18 kg ha^{-1} y para tetraploides de 25 kg ha^{-1} . Se realizó una fertilización a la siembra, con 100 kg ha^{-1} de fertilizante fosfato de amonio (18-46-46-0). También se hicieron varios cortes con el fin de emparejar los surcos, el primero se hizo cuando las plantas presentaban en promedio 3,5 hojas y dejando 5 cm remanente. Se refertilizó con urea con 80 kg ha^{-1} . El segundo corte fue el 14 de agosto con el fin de cerrar las parcelas, dejando un remanente de 8 cm de altura. También, se refertilizó con 100 kg ha^{-1} de urea.

Los surcos se fueron cosechando a medida que las semillas alcanzaban la madurez, momento donde inicia la pérdida de granos. El método de cosecha fue mediante corte manual con hoz de todas las panojas de cada surco guardando lo colectado en bolsas de papel. Las muestras se dejaron en invernáculo con tela de sombra para que sigan con el proceso de secado durante 15 días. Luego del secado, las panojas fueron desgranadas de forma manual. Para la limpieza, el material trillado se pasó por una zaranda grande (malla

10/64”) y una chica (malla 1/12”) para separar las fracciones de distinto tamaño. Se separaron las semillas de los fragmentos restantes mediante el uso de una sopladora de laboratorio.

Cuadro No. 1. Información de cada cultivar en relación al estatus, ploidía y fechas de floración correspondiente.

Nombre del material	Estatus	Ploidía	Fecha de floración
INIA Bakarat	Cultivar	Diploide	20/10 aprox.
INIA Camaro	Cultivar	Diploide	22/10 aprox.
Cambará	Cultivar	Diploide	19/10 aprox.
E284	Cultivar	Diploide	29/09 aprox.
INIA Escorpio	Cultivar	Tetraploide	25/10 aprox.
LExp1	Línea experimental	Tetraploide	11/10 aprox.
LExp2	Línea experimental	Tetraploide	22/10 aprox.
LExp3	Línea experimental	Tetraploide	11/10 aprox.
Winter Star 3	Cultivar	Tetraploide	16/10 aprox.

3.2 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA.

Previo a la cosecha, se determinó la densidad de panojas, contabilizando el número de panojas por metro lineal dentro de cada surco. Los gramos de semilla por panoja se estimaron mediante una muestra de 20 panojas maduras y sin desgrane tomadas del surco. El peso resultante de las semillas se lo dividió entre las 20 panojas para llegar al peso de semilla promedio por panoja. El peso de mil semillas (PMS) se obtuvo contando mil semillas de cada variedad que se pesaron luego con balanza de precisión. Se estimó el número de semillas por panoja a partir del valor de los gramos de semilla por panoja y el PMS (número de semillas por panoja = gramos de semilla por panoja \times 1000 / PMS⁻¹). Finalmente, la estimación de la producción total de número de semillas por metro se realizó mediante el producto del número de semilla por panoja y el número de panojas por metro lineal (número de semilla \times m⁻¹ = número de semilla por panoja \times número de panojas \times m⁻¹).

Además, se estimó el coeficiente de variación para las variables de rendimiento y componentes de rendimiento. Se calculó en base a los promedios de cada variable con sus respectivos desvíos estándares.

La germinación y viabilidad inicial de las semillas fue evaluada en el laboratorio de Fisiología Vegetal de Facultad de Agronomía (Montevideo). Se realizaron germinadores usando placas de Petri, donde se colocó doble papel

filtro y se le agregaron 5,5 ml de agua destilada por placa. Se colocaron 50 semillas por placa que se envolvieron con nylon de film para evitar pérdida de agua. Hubo tres réplicas por genotipo y cada placa correspondió a cada una de las repeticiones. Las placas se colocaron en cámaras de germinación con temperatura alternante: 12 horas a 15°C en oscuridad y 12 horas a 25°C con luz. Se realizaron conteos de germinación a los 7 y a los 14 días. Con el total germinado, se calculó el porcentaje de germinación en base a las viables. Las semillas no germinadas se analizaron mediante un test de tetrazolium para determinar su viabilidad. Para esto, se les hizo un corte longitudinal sobre el embrión usando bisturí, y se cubrieron las semillas en una solución de tetrazolium al 0,5% dentro de recipientes opacos, que se incubaron en cámaras a temperatura de 25°C y oscuridad por 24 horas. Los embriones se observaron bajo lupa, clasificándose como viables si estaban teñidos de color rojo, o no viables si no estaban teñidos completamente. El porcentaje de viabilidad se estimó mediante la suma de las semillas germinadas y las positivas al test de tetrazolium sobre el total de semillas en la muestra.

3.3 EXPERIMENTO DE ALMACENAMIENTO EN SECO.

Las semillas cosechadas de cada parcela se las almacenó en el laboratorio de Fisiología Vegetal (Fac. de Agronomía) a una temperatura media de 22°C durante 67 días. Por cada parcela de campo (material vegetal x réplica) y tiempo de almacenamiento en seco, se tomaron dos muestras de 50 semillas para hacerlas germinar durante 14 días en dos condiciones de temperaturas constantes: una réplica a 25°C y otra a 30°C. Las placas de Petri se prepararon como se describió anteriormente.

Las semillas que germinan a 30°C son una fracción de muy baja dormición. La fracción que germina a 25°C pero no a 30°C se consideró con una dormición condicional. Las semillas que no germinaron luego de finalizado cada tratamiento de temperatura se las puso en condiciones de temperaturas óptimas (7 días en alternancia 15/25°C, 12/12 h) y se evaluaron con el test de tetrazolium las que continuaban sin germinar. Las semillas germinadas a 15/25°C más las semillas positivas al test de tetrazolium se consideraron con dormición profunda. La suma de las semillas con dormición y germinadas corresponde al total de semillas viables. En cada fecha, el porcentaje de dormición (semillas no germinadas) se obtuvo sobre el total de semillas de viables.

3.4 EXPERIMENTO DE PERSISTENCIA DE SEMILLAS A CAMPO.

Para esto se utilizaron dos materiales de raigrás anual de ciclo contrastante: E284 e INIA Camaro y un único tratamiento de semillas enterradas

en el suelo a 1 cm aproximadamente. El diseño experimental fue de bloques completos al azar en arreglo factorial con duración y cultivar como factores principales. Para facilitar la recuperación de las semillas, se utilizaron bandejas fabricadas con tejido mosquitero de 30 cm de largo por 10 cm de ancho, que fueron rellenas con tierra y enterradas en el suelo. En cada una de estas bandejas se colocaron 50 semillas correspondientes a cada cultivar y duración (Figura No. 1). El ensayo fue instalado en el campo el 20 de diciembre y los tiempos de exposición fueron 31 (20/01/2020), 60 (18/02/2020) y 97 días (26/03/2020).



Figura No. 1. Instalación del experimento en el campo

Luego de transcurrido los tiempos de exposición, se registró el número de plántulas emergidas de cada parcela y se retiraron las bandejas del campo para coleccionar las semillas no germinadas. Las semillas no germinadas a campo fueron puestas a germinar en el laboratorio a 25°C como se mencionó anteriormente,

para determinar el porcentaje de dormición y de viables. Con la información generada en cada fecha, se obtuvo la evolución de la proporción de viabilidad, proporción de dormición, y pérdidas de semillas por germinación a lo largo del ensayo.

3.5 ANALISIS ESTADISTICO.

Todas las variables medidas son continuas y se analizaron en función del diseño de cada experimento. Se usó el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013).

3.5.1 Modelos y ANAVA de componentes del rendimiento y sus correlaciones.

Para cada uno de los componentes de rendimiento de semillas, se realizó un análisis de varianza con el genotipo como variable independiente. A excepción del peso de mil semillas en el cual no se realizó análisis estadístico para comparar entre cultivares debido a que el valor se calculó a partir de una sola muestra. El análisis se repitió tomando el nivel de ploidía como variable. Las medias de los genotipos fueron comparadas a través de la diferencia mínima significativa. Las diferencias entre niveles de ploidía se analizaron mediante contraste de medias. Se estudió la correlación entre los componentes del rendimiento de manera de determinar cuál componente se asocia mejor con en el rendimiento de semilla, y si hay diferencias entre ploidías y cultivares en cómo forman el rendimiento de semillas. La asociación entre el rendimiento de semillas y sus componentes se analizó dentro de cada nivel de ploidía mediante el coeficiente de correlación de Pearson utilizando el Mixed del paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013). Las correlaciones entre los niveles de ploidía se compararon mediante la prueba Z para muestras independientes (Weaver y Wuensch, 2013).

3.5.2 Determinaciones y ANAVA para germinación y viabilidad.

Se realizó un análisis de varianza de las variables proporción de viables y proporción de dormición, usando un modelo lineal que tiene como factores principales la temperatura de germinación (25°C vs 30°C), la duración del almacenamiento en seco, los genotipos y las respectivas interacciones. Los datos fueron transformados previamente al arcoseno de la raíz cuadrada para normalizar la distribución de los datos. Cuando las interacciones fueron significativas, se realizó un nuevo análisis dentro de cada nivel de cada uno de los factores. Las medias fueron comparadas a través de la diferencia mínima significativa.

3.5.3 Variables y ANAVA para experimento de persistencia de semillas a campo.

Las variables evaluadas en esta parte del trabajo fueron:

- i. semillas germinables: aquellas semillas que fueron rescatadas del campo sin germinar y germinaron en el laboratorio a 25°C (dormición condicional).
- ii. semillas dormidas: aquellas semillas viables que presentaron dormición a 25°C.
- iii. germinadas a campo: aquellas semillas que germinaron estando en el campo.
- iiii. no viables: aquellas semillas que no germinaron a 25°C y que no fueron positivas al test de tetrazolium.

Para el análisis de varianza de las variables proporción de germinables, proporción de dormidas, proporción de germinadas a campo y proporción de no viables se construyó un modelo lineal con el cultivar, el tiempo de almacenamiento y la interacción entre estos factores como variables independientes. Las variables de proporción fueron previamente transformadas al arcoseno raíz cuadrada buscando una distribución normal de los datos. Las medias se compararon mediante la mínima diferencia significativa.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 RESULTADOS DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA Y ASOCIACIÓN DE COMPONENTES DE RENDIMIENTO.

El rendimiento estimado, según los gramos de semilla por metro lineal, no se diferenció estadísticamente entre los cultivares ni tampoco entre niveles de ploidía. El rendimiento más alto lo logró el tetraploide LExp2 con 174 g y de menor producción fue el diploide Camaro con 94 g. En cambio hubo diferencias significativas en el peso de mil semillas, donde para los tetraploides fue mayor que los diploides (3,88 g vs 2,7 g, un 43,7% superior). Entre cultivares tetraploides, el mayor peso lo obtuvo LExp1 con 4,5 g y el menor LExp2 con 3,1 g. Los diploides en cambio variaron entre 2,49 y 2,93 g. Para esta variable no se realizó análisis estadístico entre los cultivares porque el valor de peso se obtuvo de una sola muestra.

Cuando se evaluó el rendimiento en número de semillas por metro lineal, no fue diferente entre niveles de ploidía pero si difirió entre los cultivares. Se destaca la producción de semilla de LExp2, Cambará y E284 sin diferencias entre ellos (Cuadro No. 2). El número de semillas por panoja resultó ser un 22,7% mayor en promedio en los diploides respecto a los tetraploides (135 vs 110 semillas por panoja, respectivamente) siendo esta diferencia estadísticamente significativa. Por el contrario, a pesar de la gran variación, no hubo diferencias significativas entre cultivares. Los máximos valores fueron obtenidos por LExp2 y Cambará con 148 y 142 semillas por panoja, respectivamente. Por otro lado, los menores registros fueron de los tetraploides LExp1 y LExp3 con 93 y 95 semillas por panoja, respectivamente. Los dos componentes mencionados (número de semillas por panoja y peso de mil semillas) se compensaron entre sí, y como resultado, no hubo diferencias entre niveles de ploidía ni entre cultivares en el los gramos de semillas por panoja (Cuadro No. 2).

En relación al número de panojas por metro, no hubo diferencias significativas entre niveles de ploidía, pero sí entre cultivares (Cuadro No. 2). El máximo valor lo logró el tetraploide LExp2 con 380 panojas (11% superior al promedio de los tetraploides), diferenciándose de Bakarat, Escorpio y Camaro con 319, 296 y 276 panojas, respectivamente. Independientemente del nivel de ploidía, se puede decir que no hubo diferencias estadísticas entre LExp2, Cambará, Winter Star3, LExp1, LExp3 y E284, y estos a su vez exceptuando LExp2 no fueron distintos de Bakarat y Escorpio.

Cuadro No. 2. Diferencias varietales y por nivel de ploidía en los distintos componentes del rendimiento de semilla.

Cultivar (plodía)	Variables de rendimiento		Componentes de rendimiento			
	Gramos de semillas por metro	Número de semillas por metro	Número de panojas por metro	Gramos de semillas por panoja	Número de semillas por panoja	Peso de mil semillas (g)
Bakarat (2x)	104 ns	39702 bc	319 bcd	0,331 ns	126 ns	2,62
Camaro (2x)	94 ns	37859 bc	276 d	0,340 ns	136 ns	2,49
Cambará (2x)	144 ns	52165 ab	368 ab	0,393 ns	142 ns	2,76
E284 (2x)	135 ns	46162 abc	339 abc	0,400 ns	136 ns	2,93
Media 2x	119,3 A	43972 A	326 A	0,366 A	135 A	2,70 B
LExp1 (4x)	148 ns	32972 c	350 abc	0,420 ns	93 ns	4,50
Escorpio (4x)	122 ns	31650 c	296 cd	0,426 ns	111 ns	3,85
Winter Star3 (4x)	146 ns	36781 bc	352 abc	0,413 ns	104 ns	3,97
LExp3 (4x)	129 ns	32522 c	347 abc	0,375 ns	95 ns	3,96
LExp2 (4x)	174 ns	56098 a	380 a	0,458 ns	148 ns	3,10
Media 4x	143,8 A	38005 A	345 A	0,418 A	110 B	3,88 A

(A) Letras mayúsculas diferentes significa diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre niveles de plodía.

(a) Letras minúsculas diferentes significa diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre genotipos.
ns: no significativo ($p > 0,05$).

Se observó que el rendimiento de semilla estimado en gramos no difirió entre ploidías, contrariamente a lo que afirman Tonetto et al. (2011) quienes encontraron mayores producciones de semilla en diploides, y Schmitz et al. (2019) quienes encontraron una superioridad en los genotipos tetraploides y comenta que es debida una mayor fertilidad de tallos. A su vez, Rossi (2017) remarca que la variación en producción de semilla se debe a si son cultivares Westerwoldicums o Italianos. La ploidía tampoco afectó al número de panojas

por metro ni los gramos de semilla en la panoja, pero sí la composición del rendimiento a nivel de panojas. Los diploides resultaron tener más semillas por panoja, pero de menor tamaño que los tetraploides, y hubo una compensación entre ambos componentes que resulta en similar peso de cada panoja. Las diferencias en peso de mil semillas entre niveles de ploidía son ampliamente conocidas, tal como lo afirma Costa et al., citados por Escalante (2007) y Amigone y Tomaso (2006), quienes señalan que el rango para los diploides es de 1,3 y 2,6 g, y para los tetraploides es de 3,3 a 4,7 g.

4.1.1 Correlaciones entre los componentes del rendimiento y coeficiente de variación.

En el caso de los diploides (Cuadro No. 3), la correlación entre la producción de semillas en gramos y en número es prácticamente de 1 a 1 ($r = 0,98$), siendo la correlación altamente significativa ($p < 0,0001$). También, tanto los gramos como número de semillas en la panoja muestran la mejor correlación con el número de semillas por metro ($r = 0,85$ en gramos y $r = 0,76$ en número).

En el caso de los tetraploides también existió una alta correlación entre la producción de semillas medida en gramos y en número ($r = 0,89$). También en este caso, los gramos y el número de semillas de la panoja se correlacionaron muy bien con el número de semillas por metro. Con relación al número de panojas por metro, en los tetraploides no hubo correlación con los gramos de semilla por metro. Hubo una correlación negativa entre el peso de mil semillas y el número de semillas por metro ($r = -0,68$), (Cuadro No. 3).

Las correlaciones entre componentes de rendimiento solo difirieron entre ploidías en 2 casos. Las correlaciones entre el peso de mil semillas con el número de semillas por metro, y el peso de mil semillas con los gramos de semillas por metro fueron distintas entre ploidías ($p = 0,00338$; $p = 0,02218$; respectivamente). En las correlaciones mencionadas, los cultivares diploides no presentaron correlación para peso de mil semillas y número de semillas por metro pero sí para peso de mil semillas y gramos de semillas por metro (0,61). En los tetraploides fueron negativas (-0,68) y sin correlación, respectivamente.

Cuadro No. 3. Coeficiente de correlación y nivel de significancia entre los componentes de rendimiento de semilla para los cultivares diploides y tetraploides, y prueba z comparando ambas correlaciones.

Variabes	2x	4x	Diferencia entre correlaciones
Número de semillas por metro-gramos de semillas por metro	0,98 **	0,89 **	ns
Peso de mil semillas-número de semillas por metro	ns	- 0,68 *	**
Número de semillas por panoja-número de semillas por metro	0,76 *	0,89 **	ns
Gramos de semillas por panoja-número de semillas por metro	0,85 **	0,68 **	ns
Número de panojas por metro-número de semillas por metro	ns	ns	ns
Peso de mil semillas-gramos de semillas por metro	0,61 *	ns	*
Número de semillas por panoja-gramos de semillas por metro	0,70 *	0,77 **	ns
Gramos de semillas por panoja-gramos de semillas por metro	0,85 **	0,79 **	ns
Número de panojas por metro-gramos de semillas por metro	0,61 *	ns	ns

ns: no significativo; * significativo al 5%; ** significativo al 1%.

Las correlaciones entre componentes y variables del rendimiento fueron concordantes con los resultados de otras especies, como lo es el trigo. Solís Moya et al. (2004) obtuvieron una correlación de 0,40 entre el número de semillas por espiga y el rendimiento en peso de semillas, y de 0,72 entre número de semillas por área y rendimiento en semillas en peso. Sin embargo, la correlación entre número de semillas por espiga y número de semillas por área fue menor en trigo. Por su parte, Gorriti Isern y Pérez del Castillo (1998), señalan que en festuca el rendimiento en semilla esta mayormente explicado por el número de panojas, contrariamente a lo expuesto en este trabajo, donde los componentes que mejor correlacionaron con los gramos de semilla por metro fueron los gramos y numero de semillas en la panoja. Estos autores también demostraron que existe una correlación positiva significativa de 0,48 entre el peso de mil semillas y el número de panojas, que se replica en nuestro trabajo en las variedades diploides

(0,58). Esta interacción entre los componentes del rendimiento obtenido nos dice que si aumenta el número de panojas habrá un menor número de semillas en cada una, resultando en una menor competencia entre ellas y finalmente lograr un mayor peso de las semillas. Por su parte, el peso de mil semillas se correlaciona distinto con otros componentes de rendimiento según se trate de raigrases diploides o tetraploides. Como se ve en el Cuadro No. 3, cuando se correlacionó el peso de mil semillas frente a las dos variables de rendimiento (número de semillas por metro y los gramos de semillas por metro) correlacionaron de forma distinta según nivel de ploidía, siendo en diploides inexistente para el número de semillas por metro y positiva-alta (0,61) para los gramos de semilla por metro, a su vez en los tetraploides las mismas correlaciones fueron negativo-fuerte (-0,68) y sin correlación, respectivamente. En la misma línea, Artola (1972), en su trabajo sobre raigrás E284, reportó que los componentes que mayormente explicaron el rendimiento fueron el número de semillas por panoja (coincidente con nuestros resultados) y el número de panojas por metro (no replicable en nuestro trabajo). A su vez, dicho autor mencionado, constató que el peso de mil semillas no tuvo correlación significativa con el rendimiento en semilla. Se concluye entonces que los componentes que más impactan en el rendimiento es el número de panojas por metro y el número de semillas en cada panoja.

El coeficiente de variación de cada componente nos indica cual es más estable y cual es más afectado tanto por las diferencias genéticas entre los cultivares como por factores no controlados en el experimento (error experimental). De esta forma, como muestra el Cuadro No. 4, la mayor variación entre materiales diploides se encuentra en los gramos de semillas de las panojas con un 20%, seguida del número de semillas en la panoja con 17%, mientras que, el peso de mil semillas presentó la menor variación con 6%. Con respecto a los materiales tetraploides, a nivel general se observa una mayor variación en la mayoría de los componentes con relación a los diploides. El número de semillas por panoja fue el componente de mayor variación seguido de los gramos de semillas de las panojas. El peso de mil semillas y el número de panojas por metro fueron los componentes menos variables en los tetraploides.

Cuadro No. 4. Coeficiente de variación (%) de cada componente del rendimiento, general y para cada nivel de ploidía.

Variables	General	Diploides	Tetraploides
Variables de rendimiento			
Número de semillas por metro	28	22	31
Gramos de semillas por metro	25	26	23
Componentes de rendimiento			
Número de panojas por metro	13	14	12
Gramos de semillas por panoja	21	20	21
Numero de semillas por panoja	24	17	27
Peso de mil semillas	21	6	12

Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Schmitz et al. (2019) también en raigrás el cual obtuvo un 13,64% de variación en el componente densidad de panojas (número de panojas por planta). En nuestro trabajo, ocurrió que en diploides esta variable correlacionó positiva y significativamente con el rendimiento en gramos de semillas por metro pudiendo inferir que dicho componente es más estable y confiable para estimar rendimiento final. En cambio, son discrepantes en las demás variables (número de semillas por panoja y gramos de semilla de la panoja) alcanzando valores de 8,3% y 8,6%, respectivamente, donde en nuestro trabajo fueron las de mayor coeficiente de variación pero sin embargo correlacionaron de manera fuerte y positiva con el rendimiento final tanto en gramos como en número de semillas. Por su parte, en otra gramínea forrajera (*Bromus catharticus*) el coeficiente de variación rondaba entre 36% para la densidad de panojas (número de panojas por planta) y de 34% en promedio de dos años para la variable número de semillas por panoja (Abbot et al., 2007). Aunque se trata de especies diferentes, en ambos trabajos el número de semillas por panoja fue de las variables con mayor variación. Cabe destacar que el coeficiente de variación solo permite comparar el grado de variación entre variables, pero no el origen de esa variación (ejemplo: genética vs ambiental).

4.2 EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN SECO

4.2.1 Viabilidad

No hubo efecto de la temperatura de germinación en la viabilidad de las semillas ($p > 0,5776$), pero si hubo diferencias entre los tiempos de almacenamiento y entre cultivares, no ocurriendo interacciones (Cuadro No. 5). Las diferencias en viabilidad entre cultivares que se registró al inicio parece mantenerse en los diferentes tiempos de almacenamiento. La viabilidad de cada cultivar mostro una tendencia de mantenerse constante en los siguientes tiempos de almacenamiento, salvo los genotipos LExp1 y LExp3 que disminuyeron viabilidad entre fechas, presentando diferencias entre el día 0 al 39. También LExp2 disminuyó su viabilidad pero solo a los 67 días.

Cuadro No. 5. Viabilidad de las semillas para cada cultivar con diferentes tiempos de almacenamiento. Se muestra el valor promedio de lo obtenido en 25°C y en 30°C.

Cultivar	0 días	39 días	67 días
INIA Bakarat	93 A** bc*	88 A abcd	88 A bc
INIA Camaro	92 A bc	90 A abc	91 A b
Cambará	89 A cde	88 A abcd	87 A bc
E284	72 A e	80 A cd	75 A e
INIA Escorpio	86 A de	87 A bcd	83 A cd
LExp1	93 A bcd	88 B bcd	87 B bc
LExp2	97 A ab	93 AB ab	92 B ab
LExp3	90 A cde	81 B d	80 B de
Winter Star3	97 A a	94 A a	96 A a

(*) Letras minúsculas diferentes significa diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre genotipos dentro de cada tiempo de almacenamiento.

(**) Letras mayúsculas diferentes significa diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre tiempos de almacenamiento dentro de cada genotipo.

Estos resultados nos muestran que dentro del tiempo de evaluación la viabilidad de las semillas se tiende a mantener en la mayoría de los materiales en almacenamiento en seco, a excepción de los mencionados anteriormente. Pero, es probable que si se evaluara por más tiempo la reducción de viabilidad sería notoria. En líneas generales, siempre la viabilidad es mayor inmediato a cosecha y luego disminuye (Taberner, 1996). Si bien, este experimento no fue más allá de los 67 días, los resultados son consistentes a los mencionados por Eichelberger et al. (2001) en cual reportaron, también en raigrás, un 88% de

viabilidad inmediato a cosecha y un descenso gradual en la viabilidad que luego de 7 meses llegó a ser de 77%. Si bien, los resultados del almacenamiento en seco sugieren que la viabilidad se mantiene por más de dos meses, hay que considerar que en un sistema de resiembra la semilla está en el suelo expuesta a condiciones cambiantes de humedad y temperatura, donde es probable que la viabilidad de las semillas se vea más afectada y disminuya a mayores tasas (ver experimento de persistencia a campo). Creemos que para un sistema de resiembra la clave sería elegir un cultivar que no se deteriore tanto, así tiene más chances de llegar a la estación de crecimiento con mayores posibilidades de generar nuevas plantas.

4.2.2 Cambios en el nivel de dormición según ploidía y genotipos.

Hubo diferencias de dormición entre niveles de ploidía dentro de la fecha inicial y los 67 días de tiempo de almacenamiento para la temperatura de 30°C. En la fecha 39, no se detectaron diferencias entre ploidías, ocurre que los cultivares tienen un rápido descenso de dormición y que luego continúa reduciéndose en los diploides. En cambio, para la temperatura de 25°C solo se encontraron diferencias en dormición para la fecha inicial de almacenamiento, donde los tetraploides registraron 84% y diploides 70%. En las fechas posteriores todos los cultivares independientemente del nivel de ploidía no presentaron diferencias en dormición (a los 39 días aproximadamente 25% y a los 67 días 15%). El comportamiento general frente a 30°C fue de registrar menores valores de dormición. Pero estas diferencias se explican, principalmente, por las características de algunos cultivares en particular y no parece que se explique por nivel de ploidía. Cultivares de switchgrass (*Panicum virgatum* L.) mostraron diferencias en características germinativas sin que esta se asocie con el nivel de ploidía (Seepaul et al., 2011)

Analizando el comportamiento general de todos los genotipos, podemos decir que el porcentaje de semillas dormidas es alto a los pocos días de cosechada la semilla y va disminuyendo en la medida que avanza el tiempo de almacenamiento en seco. Como era de esperar, el porcentaje de dormición es mayor cuando la semilla se puso a germinar a 30°C y menor a 25°C, alcanzando valores iniciales entre 87% y 99% a 30°C, y entre 60% y 88% a 25°C.

Al inicio, la proporción de semillas fuertemente dormidas (no germinaron a 25°C) es diferente estadísticamente entre los cultivares y posteriormente en las siguientes fechas las diferencias en dormición desaparecen teniendo igual comportamientos los genotipos. A partir de esta respuesta, se pueden agrupar dos conjuntos de cultivares: el primero corresponde a los que presentaron una

mayor dormición, como LExp3, LExp2, Cambará, LExp1, Winter Star3 y Escorpio, que en promedio obtuvieron 84% de dormición a 25°C, no difiriendo estadísticamente entre ellos. El otro grupo que presentó valores más bajos incluye a Bakarat, Camaro y E284 con 66% de semillas dormidas en promedio, sin diferencias entre ellos.

Cuando se evaluó la proporción de semillas dormidas a través del tiempo, los resultados indican que hay comportamientos diferenciales en los cultivares de cómo se comportaron. Observando la proporción de semillas dormidas a 30°C (incluye la fracción con dormición condicional y las fuertemente dormidas, Figura No. 3) tenemos cultivares que a los 39 días de almacenamiento presentaron menos de 40% de semillas dormidas, como Camaro, E284, LExp1 y LExp2. En un segundo escalón, encontramos a un solo cultivar (Cambará), el cual a los 39 días se mantuvo por encima de 40% de dormición a 30°C, pero que presentó una disminución hacia los 69 días alcanzando el 24%. Por último, el tercer grupo son los cultivares que mantuvieron la proporción de dormición a 30°C por encima de 40% durante todo el experimento, como Bakarat, Escorpio, LExp3 y Winter Star3 (Figura No. 3).

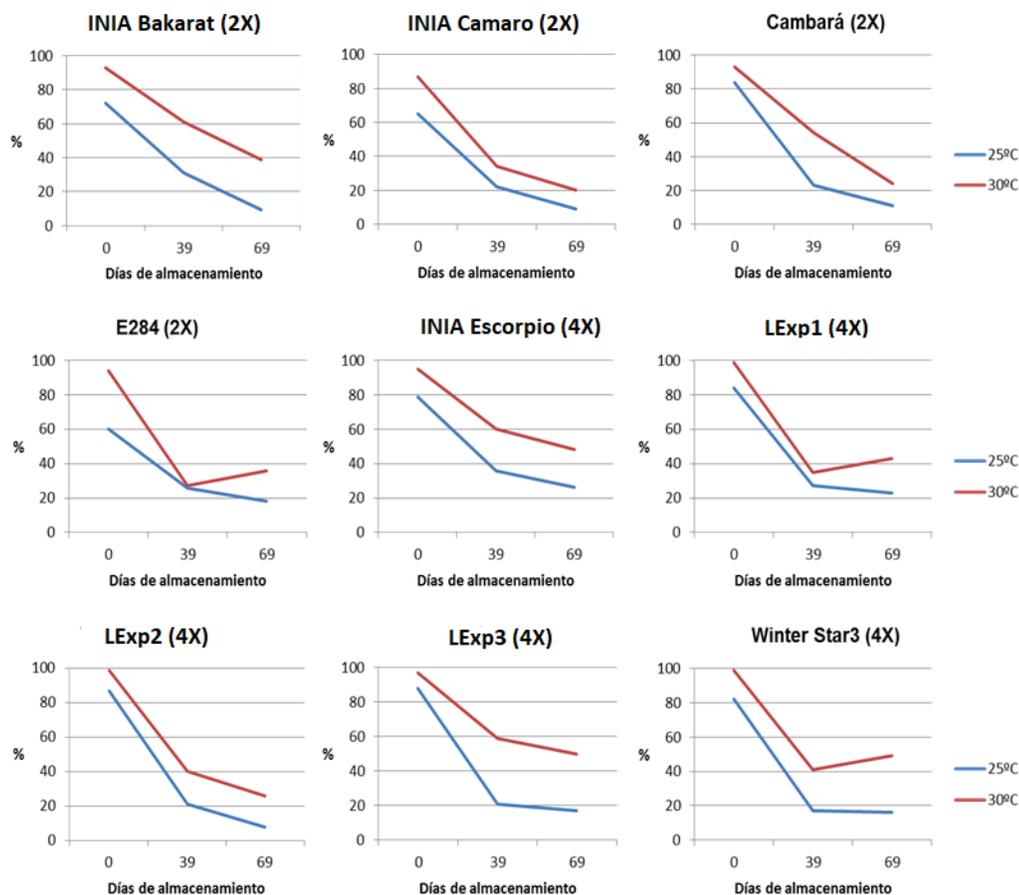


Figura No. 2. Evolución de la proporción de dormición en almacenamiento en seco frente a temperaturas de germinación de 25° y 30°C para cada variedad.

Genotipos con una menor dormición es probable que tengan semillas de menor persistencia quedando más expuestas a los factores de ambiente (Long et al., 2015). Los cultivares del primer grupo mostraron más de un 60% de semillas con casi nula dormición dentro del primer mes de almacenamiento, dado que lograron germinar a 30°C. Los resultados sugieren que este grupo de cultivares serían los adecuados para usar en situaciones donde las condiciones del verano no sean extremadamente secas y que ocurran eventos de lluvias en periodos regulares. De este modo, la población de semillas que germina pueda establecerse y no morirse después que vengan condiciones adversas. Por contrapartida, los cultivares del grupo que a los dos meses de almacenaje aún conservan una fracción mayor de semillas con dormición condicional (germinan a 25°C pero no a 30°C), serían más adecuados en años en el que la probabilidad de que ocurra una seca durante el verano sea alta. Mantener la dormición por

más tiempo garantiza mantener las semillas viables sin germinar, a pesar de que haya eventos aislados de lluvias en verano que sean suficientes para germinar, pero no para mantener el nuevo plantín. De esta manera, puede germinar con mejores condiciones de humedad y temperatura hacia finales de dicha estación.

La dormición de las semillas también es alta al momento de la cosecha y desciende con el almacenamiento en seco, hasta que eventualmente puede desaparecer por completo, aunque es de esperar que existan factores genéticos y ambientales que afectan esta respuesta. Este descenso depende de la temperatura y la humedad de las semillas en almacenamiento que provocan cambios en la sensibilidad a las hormonas ácido abscísico y giberelinas, responsables de mediar la germinación (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006). Los resultados de este experimento coinciden con Wiesner y Grabe (1972), donde las semillas requirieron entre 49 y 76 días de almacenamiento para una germinación exitosa, variando a su vez según los diversos cultivares. Dicha variación, probablemente, está asociada a genes que se expresan según la temperatura del ambiente en el cual fueron formadas y la posición en la que se encuentra la semilla en la inflorescencia, mostrando la variabilidad en la dormición dentro del lote (Wiesner y Grabe, 1972, Baskin y Baskin, 2004, Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006, Goggin et al., 2009).

El período de evaluación en este trabajo culminó a los 67 días pero es de esperar que el nivel de dormición siga bajando con el transcurso del tiempo. Así lo reportaron diferentes autores señalando que la dormición es mínima entre los días 90 a 150 post-cosecha de las semillas (Nakagawa et al., 2000, Jácome et al., 2013, Rodríguez et al., citados por Tarnonsky, 2018).

4.3 RESULTADOS DE PERSISTENCIA DE SEMILLAS A CAMPO.

En este experimento, se tomaron los datos de viabilidad inicial y germinación a 25°C obtenidos en el experimento de almacenamiento en seco como información del día 0 (momento de siembra). El análisis estadístico no detectó diferencias entre cultivares en ninguna de las 4 variables estudiadas (proporción de germinadas a campo, de dormidas, de germinables, y de no viables), pero si hubo diferencias en todas las variables por la duración de la exposición de la semilla en el campo. Además, ocurrió una interacción cultivar \times duración en semillas no viables ($p < 0,0356$), dormidas ($p < 0,0351$), germinables ($p < 0,0272$).

La germinación observada en el campo (proporción de germinadas a campo) se comportó de manera similar en los dos cultivares, incrementando su valor a medida que transcurre el tiempo. Las diferencias en duración fueron significativas en los 30 y 97 días post siembra (20/01/2020 y 26/03/2020) tomando valores promedio para ambos cultivares de 30% y 69% respectivamente (Figuras No. 3 y 4).

Ambos cultivares ya en el primer mes pierden una parte de la fracción de la población con dormición profunda (dormidas en Figuras No. 3 y 4), que pasaron a formar parte de la fracción que germinó en el campo o que perdió la viabilidad. Al fin del segundo período (18/02/2020), la dormición profunda prácticamente desaparece por completo particularmente en E284, en Camaro aún queda un remanente porque aumentó la proporción de germinadas a campo (en desmedro de una disminución de proporción de semillas con dormición), quedando una población de semillas con dormición condicional (germinables en Figuras No. 3 y 4). De esto se desprende que el cultivar Camaro se destacó por mantener una mayor proporción de semillas con dormición condicional en febrero. Por último, en la última fecha, todas las semillas que estaban presentes germinaron o se murieron (Figuras No. 3 y 4).

Con el transcurso del tiempo, la semilla en campo fue perdiendo viabilidad. En los primeros 30 días es cuando ocurre el mayor aumento de la fracción no viable particularmente en Camaro ya que en E284 sigue cayendo gradualmente. Por su parte, con respecto a la viabilidad la interacción cultivar \times duración se da en el día 60 en el cual Camaro mantuvo mayor proporción de semillas viables que E284, tomando valores de 35% y 7% respectivamente. Hacia el final del experimento la diferencia se amplía en favor de Camaro (aproximadamente 20%) más de semillas viables pero dicha diferencia no es significativa.

En la fracción de semillas dormidas hubo un descenso marcado entre el día 0 y el día 31, pasando del 62,5% al 7,4% en promedio, para luego continuar descendiendo gradualmente hasta el día 97, donde las dormidas representaron solamente el 0,35% del total. Sin embargo, hubo interacción entre el cultivar y la duración, ocurriendo diferencias significativas entre los cultivares en los días 31 y 60, donde Camaro mantuvo una mayor proporción de semillas dormidas (12,4% y 4,1%, respectivamente) que E284 (2,3% y 0% respectivamente).

Por último, las semillas germinables tuvieron un aumento entre el día cero y el día 30 producto de la pérdida de dormición profunda, para luego descender como consecuencia del aumento de la germinación a campo. Hubo diferencias entre cultivares en el día 60 (18/02/2020), en el cual Camaro mantenía el 27% de sus semillas en condición de germinar, mientras que E284 solo conservaba un 4% de las semillas en ese estado. En el día 31, estas diferencias también fueron amplias y apenas no significativas ($p > 0.0558$) donde presentaron valores de 35% para Camaro y 51% para E284. Posteriormente en la última fecha de evaluación (26/03/2020) la proporción de semillas germinables solo fue de 3,4% y 0% para E284 y Camaro respectivamente, aunque dicha diferencia deja de ser significativa.

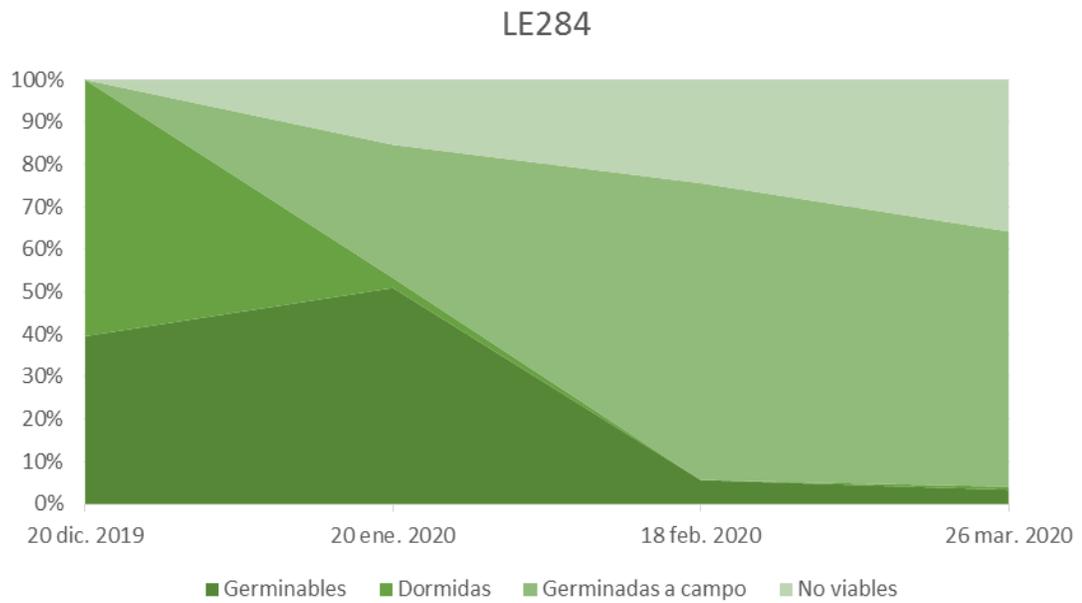


Figura No. 3. Evolución del estado de las semillas de E284 en condiciones de campo durante el verano.

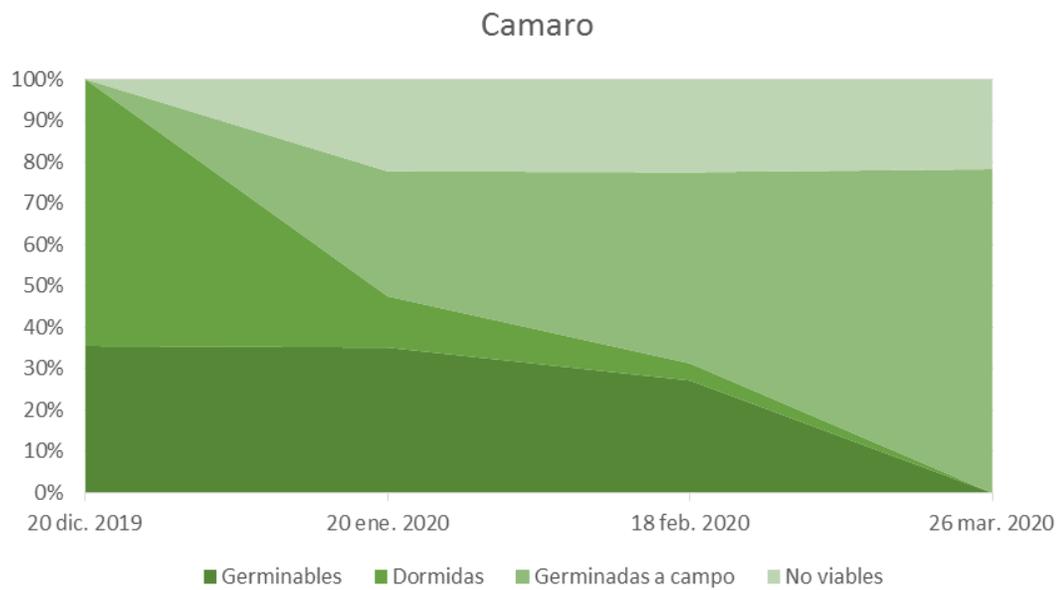


Figura no. 4. Evolución del estado de las semillas de Camaro en condiciones de campo durante el verano.

Como muestran los resultados, se puede decir que no existen grandes diferencias en los cultivares evaluados. La germinación a campo fue similar entre ambos cultivares entre los días 31 y 60, a pesar de que Camaro mantuvo los valores más elevados. Existieron ciertas interacciones que pueden tener alguna implicancia agronómica en la persistencia de las semillas. Camaro fue capaz de mantener por más tiempo la viabilidad de las semillas y la dormición condicional de las mismas en pleno verano. Esto puede tener efectos positivos en cuanto a sobrevivir en dicha estación, ya que puede evitar la germinación, aunque haya condiciones del ambiente para germinar como algún evento de precipitación, lo que le permitiría llegar con un mayor banco de semillas al final del verano cuando hay mejores condiciones para la sobrevivencia de la plántula. En E284, la germinación en el primer tercio del verano es más probable que ocurra debido a que las semillas tienen mayor proporción de semillas germinables lo que habilita a que las semillas logren germinar frente a condiciones favorables de germinación, pero no necesariamente adecuadas para la sobrevivencia de la plántula. Sin embargo, si las condiciones fuesen favorables para la plántula, E284 podría germinar y establecerse temprano. Do Canto (2019), evaluó los mismos cultivares donde E284 tuvo un mejor comportamiento en resiembra, lo que fue asociado a una mayor producción de semillas de esta variedad. Posiblemente, la variación en las condiciones ambientales entre años y de manejo de chacras tenga un efecto muy importante y que también incidan en el éxito de la resiembra. También, la capacidad de resiembra no está solo influenciada por la viabilidad y dormición de las semillas, si no que debemos recordar el impacto de la cantidad de semilla que producen.

La germinación aumenta a medida que transcurre el tiempo en desmedro de la pérdida de dormición de las semillas, concordando con la afirmación de Wiesner y Grabe (1972). A su vez, en el último testeo de las semillas a campo hecho el 26 de marzo queda en evidencia que las semillas ya germinaron en su gran mayoría y las que no lo hicieron, se murieron en su gran mayoría. Esto afirma la vulnerabilidad del banco de semilla del suelo de esta especie (Nakagawa et al., 2000, Costa, 2005, Jácome et al., 2013). Como es de esperar, la disminución de la proporción de semillas viables con el transcurso del tiempo es más marcada a campo que en almacenamiento, ya que la semilla está expuesta a mayores fluctuaciones de humedad y temperatura. Estos datos coinciden con lo reportado en la literatura por Taberner Palou (1996) en el cual constató que la viabilidad de las semillas inmediato de ser dispersadas era de 75,8% y a los 150 días dicho parámetro caía notoriamente, afirmando una vez más que el banco de semillas del suelo se renueva prácticamente todos los años. Estos datos permiten concluir junto con las germinaciones que la persistencia del

raigrás anual por semilla es muy dependiente de la producción de semilla previa. Desde el punto de vista del raigrás como maleza, estos resultados nos permitirían explicar que para el manejo de malezas es mejor usar un cultivar con pobre resiembra (ya sea por baja producción de semillas o por la pérdida rápida de la dormición de las mismas) garantizando que al momento de hacer el control de malezas previo a la instalación del cultivo de invierno ya toda la población de semillas esté germinada para un efectivo control.

5. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que existen diferencias en las características que podrían explicar la resiembra entre cultivares de raigrás, y que no se explicaron por el nivel de ploidía. Además tampoco es posible afirmar que los tetraploides suelen tener menor resiembra ya que la producción de semillas por metro no fue diferente presentando mayor dormición al inicio y manteniendo en mayores niveles la dormición condicional.

La producción final en número de semillas resultó distinta entre genotipos pero tampoco está asociada a la dormición. El componente número de semillas por panoja fue el mejor predictor del rendimiento.

Las diferencias encontradas en la dormición de semillas fueron inmediato a la cosecha, y su evolución con el transcurso del tiempo tanto en almacenamiento en seco como a campo también fue distinta logrando agrupar cultivares con respuestas diferenciales en el almacenamiento en seco. En el campo no ocurrió lo mismo ya que Camaro y E284 presentaron diferencias en las fechas intermedias pero en almacenamiento en seco estos cultivares se agruparon en el mismo grupo por similar comportamiento. Es esperable entonces que la reducción en dormición en condiciones de campo pueda ser diferente a lo registrado durante el almacenamiento en seco en laboratorio.

Esto nos brinda información para seleccionar los cultivares que se adapten a un determinado ambiente. Los cultivares que mantienen más la dormición pueden ser más eficientes en un sistema de resiembra con condiciones más secas durante el verano, mientras que cultivares que pierden la dormición más rápido, pueden ser más eficientes en condiciones más húmedas. En un sistema de rotación con cultivos, los cultivares más adecuados serían aquellos que produzcan menor cantidad de semillas o que la dormición de las mismas desaparezca rápidamente.

Se comprobó que la cantidad de semillas viables que quedan en el campo son muy pocas luego de 3 meses, sugiriendo que esta especie no forma un banco de semillas persistente en el suelo y el éxito del restablecimiento de la pastura va a depender más de la sobrevivencia y prosperidad de las tandas de germinación que ocurran en ese lapso de tiempo.

6. RESUMEN.

El estudio de la variabilidad en la viabilidad y dormición de semillas de raigrás (*Lolium multiflorum* var. *Lam*) permitiría conocer que genotipo se adecue más al sistema de producción. Se trata de una gramínea invernal anual siendo una de las principales especies utilizadas para la alimentación animal durante el invierno. La elección de raigrás es optada por su buena productividad y su buena resiembra natural que resulta interesante. Los cultivares pueden presentar diferencias en características esenciales para el sistema de resiembra, entre ellas, producción de semillas y persistencia en el suelo. La persistencia de esta especie esta mediada por el mantenimiento de la dormición y viabilidad de sus semillas. En este marco, no existen antecedentes a nivel país para saber si hay diferencias entre diferentes cultivares de raigrás pero información regional y extranjera señalan que la viabilidad disminuye con el transcurso del tiempo no perdurando más de dos años en el suelo, así mismo la dormición desaparece a los 150 días post dispersión. El objetivo de este trabajo fue evaluar si existe variabilidad genética en raigrás en producción de semillas, viabilidad y dormición en condiciones de almacenamiento en seco y a campo. Se consideró el efecto del nivel de ploidía como posible factor adicional en variaciones de los parámetros estudiados. La metodología empleada fue evaluar la producción de semillas de 9 variedades de raigrás (4 diploides y 5 tetraploides) estimando los componentes del rendimiento para conocer cuál era el mejor predictor del rendimiento. Las semillas cosechadas se utilizaron para dos experimentos, en uno para ponerlas a germinar a 25°C y 30°C para evaluar dormición y viabilidad en tres tiempos de almacenamiento en seco (0, 39 y 67 días). En el otro experimento las semillas de dos genotipos contrastantes (E284 e INIA Camaro) fueron enterradas en el suelo para medir germinación a campo, dormición y viabilidad cada 30 días aproximadamente durante tres meses. Se registraron diferencias entre los genotipos para la producción de semillas, siendo los más destacados LExp2, Cambará y E284, siendo el número de semillas por panoja la característica mejor asociada a la producción de semillas. En cuanto a la dormición en almacenamiento en seco hubo comportamientos diferenciales en la dormición y como esta evoluciona con el tiempo, pudiendo agrupar cultivares que descienden rápidamente la dormición prácticamente al mes (p.j, E284) y otros que les cuesta más tiempo el descenso (p.j, INIA Bakarat) después de dos meses. En el campo se registraron diferencias en comportamiento, siendo interesante las interacciones obtenidas, en el cual INIA Camaro resultó mantener por más tiempo la viabilidad y semillas en condiciones de germinar que E284 luego de dos meses de enterradas, presentando una mejor persistencia del banco de semillas en las condiciones de este experimento. Finalmente se concluye que existen diferencias

en características asociadas a la capacidad de resiembra y que estas diferencias están mejor explicadas por la variación entre cultivares que entre ploidías y que puede haber un grupo de cultivares que se adapten mejor que otros a sistemas que incluyan resiembra natural, dependiendo del ambiente y del manejo que se realice. Se destaca que esta especie no genera un banco de semillas persistentes en el suelo ya que las semillas luego de finalizado el experimento, si no germinaron, estaban muertas.

Palabras clave: genotipos de *Lolium multiflorum*, raigrás anual, variabilidad genética, producción de semillas, persistencia, dormición.

7. SUMMARY.

The study of variability in the viability and dormancy of ryegrass seeds (*Lolium multiflorum* var. *Lam*) would allow to know which genotype is best suited to different production systems. Ryegrass is an annual winter grass being one of the main species used for animal feed during the winter. It is chosen for its high forage production and good natural reseeding. Cultivars may have differences in traits associated with reseeding ability, including seed production and seed persistence in the soil. The seed persistence is achieved by maintaining dormancy and viability through summer. There are no previous reports in our country about cultivar differences regarding these traits, but regional and foreign information indicate that seed viability decreases with time lasting no more than two years in the soil, while dormancy disappears after 150 days of dispersion. The objective of this work was to evaluate the genetic variability in ryegrass in seed production, viability and dormancy in dry storage conditions and in the field. The effect of ploidy level was considered as a possible additional factor in variations of the parameters studied. The methodology consisted in the evaluation of seed production of 9 varieties of ryegrass (4 diploids and 5 tetraploids), estimating the seed yield components to know which was the best predictor of yield. The harvested seeds were used for two experiments, one was germination at 25°C and 30°C to evaluate dormancy and viability in three dry storage times (0, 39 and 67 days). In the other experiment the seeds of two contrasting genotypes (E284 and INIA Camaro) were buried in the soil to measure field germination, dormancy and viability every 30 days for approximately three months. There were differences between the genotypes for seed production, the most prominent being LExp2, Cambará and E284, with the number of seeds per spike being the characteristic best associated with seed production. As for the dormancy in dry storage there were differential behaviors in the dormancy and its evolution over time, allowing to group cultivars that quickly descend the dormancy within a month (p.j, E284) and others that took more time to descent (p.j, Bakarar) after two months. In the field there were differences in behavior, with interesting interactions observed, in which INIA Camaro maintained seed viability and seeds ready to germinate for a longer time than E284, showing a better persistence of the seed bank in the conditions of this experiment. Finally, it is concluded that there are differences in characteristics associated with the ability to reestablish and that these differences are better explained by the variation between cultivars than between ploidy levels and that there may be a group of cultivars that are better adapted than others to systems that include natural reseeding, depending on the environment and the management that is carried out. It is noteworthy that

this species does not generate a persistent seed bank in the soil since the seeds at the end of the experiment, either germinated or lost viability.

Keywords: *Lolium multiflorum* genotypes, annual ryegrass, genetic variability, seed production, persistence, dormancy.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. Abbott, L. A.; Pistorale, S. M.; Filippini, O. S. 2007. Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semillas en *Bromus catharticus*. *Ciencia e Investigación Agraria*. 34(2): 141 – 149.
2. Amigone, M. A.; Tomaso, J. C. 2006. Principales características de especies y cultivares de verdes invernales. (en línea). s.l., INTA. 11 p. (Informe para Extensión no.103). Consultado 19 nov. 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-caractersticas_de_especies_y_cultivares_de_verde.pdf.
3. Andres, G. J. 2016. Avaliação do rendimento de cultivares de azevém. Tesis Ing. Agr. Cerro Largo, RS, Brasil. Universidade Federal da Fronteira Sul. 26 p.
4. Artola, A. 1972. Efectos de la fertilización nitrogenada y espaciamiento en la producción de semilla de raigrás anual, *Lolium multiflorum Lam.*, cultivar “La Estanzuela 284”. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 63 p.
5. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, N.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajeras: catálogo de cultivares 2010. Montevideo, INIA. 131 p. (Otros Documentos no. 38).
6. _____. 2012. Algunas bases ecofisiológicas para el manejo de pasturas. (en línea). *In: Jornadas Internacionales de Actualización Ganadera para la Pampa Húmeda (2012, Santa Fe)*. Trabajos presentados. Santa Fe, Desarrollo Ganadero Sustentable. 9 p. Consultado 25 oct. 2021. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3455/1/Congreso-Ayala-2012-1.pdf>.
7. Barberousse Aguirre, J.; Sanguinetti Young, I. 2020. Efecto de los cultivos de cobertura y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 65 p.
8. Barreto, S.; Bermúdez, R. 2017. Mejoramientos de campo: preparando la siembra de otoño. *Revista Plan Agropecuario*. no. 164: 40 – 42.
9. Baskin, J. M.; Baskin, C. C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*. 14(1): 1 – 16.
10. Beffart Aiolfi, R.; Tairini Kagimura, L.; Caroline Zatta, A.; Schmitt, D.; Brugnara Soares, A.; Kieling Severo, I.; Hammes Schmalz, B. A. 2021. Dynamics of forage production in annual ryegrass cultivars. *Brazilian Journal of Development*. 7(9): 90303 – 90317.

11. Benech-Arnold, R. L.; Sánchez, R. A.; Forcella, F.; Kruk, B. C.; Ghera, C. M. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*. 67(2): 105 – 122.
12. Berastegui, G. 2017. Efecto de la carga animal sobre la altura del canopeo de una promoción química de especies invernales sometida a pastoreo continuo con vaquillonas en recría. Tesis Ing. Agr. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 44 p.
13. Bermúdez, R.; Carámbula, M.; Ayala, W. 1996. Introducción de gramíneas en mejoramientos extensivos. In: Jornada Anual de Producción Animal (1996, Treinta y Tres). Resultados experimentales. Treinta y Tres, INIA. pp. 33 – 43. (Serie Actividades de Difusión no. 110).
14. _____; Ayala, W. 2005. Implantación de gramíneas en los mejoramientos de campo con leguminosas. In: Jornada Anual de Producción Animal (2005, Treinta y Tres). Resultados experimentales. Treinta y Tres, INIA. pp. 1 – 9. (Actividades de Difusión no. 429).
15. Berrutti Zorrilla de San Martín, F.; Blengio Bocage, A.; Marques Berrutti, M. 2018. Evaluación de la producción de verdes puros y en mezcla con leguminosas con y sin agregado de nitrógeno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 65 p.
16. Besteiro, I. 2018. Crecimiento y condición corporal de vaquillonas en recría bajo dos intensidades en pastoreo continuo. Tesis Ing. Agr. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 59 p.
17. Bosch Rodríguez, C.; Ugarte Pollio, J. 2012. Estudio del potencial alelopático e interferencia de 5 cultivares de trigo (*Triticum aestivum*) sobre raigrás anual (*Lolium multiflorum*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 65 p.
18. Briosi Martínez, M.; Dotti Rodríguez, G. 2016. Tolerancia a la interferencia de raigrás anual (*Lolium multiflorum* L.) en 7 cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 37 p.
19. Bruera, E. Á.; Fernández, J. M. 2018. Caracterización de una promoción química de especies invernales bajo dos modalidades de pastoreo. Tesis Ing. Agr. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 36 p.
20. Carámbula, M. 2002. Pasturas y forrajes. Vol. 1: Potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. 357 p.

21. _____. 2003. ¿Qué tipo de raigrás debería utilizar? Revista Plan Agropecuario. no. 105: 52 – 55.
22. Caviglia, O. P.; Novelli, L.; Gregorutti, V. C.; Van Opstal, N. V.; Melchiori, R. J. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. In: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodredo, M. eds. 2013. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. La Pampa, INTA. pp. 148 – 157. Consultado jun. 2022. Disponible en https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/89/l_alvcon779.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=149.
23. Chiola Ríos, M.; Mora González, E. 2011. Evaluación de la capacidad de interferencia sobre raigrás (*Lolium multiflorum* L.) en 5 cultivares de cebada cervecera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 48 p.
24. Costa, M. 2005. Dinâmica do banco de sementes do solo em ecossistema campestre sob utilização agropecuária com soja e azevém anual. Tesis Dr. Ciencia y Tecnología de Semillas. Pelotas, Brasil. Universidad Federal de Pelotas. Facultad de Agronomía. 115 p.
25. Dávila Malzoni, E.; Elduayen Rostan, N. 2015. Efecto de diferentes coberturas de invierno antecesoras a la siembra de maíz en la dinámica del enmalezamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 53 p.
26. De la Vega, M. s.f. Promoción de raigrás en la Cuenca del Salado. (en línea). s.l., INTA. 3 p. Consultado 05 oct. 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/promocion_de_raigras.pdf.
27. Do Canto, J. 2019. Capacidad de resiembra natural de dos cultivares de raigrás (*Lolium multiflorum* Lam) de ciclo contrastante. In: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical (25°, 2019). Actas. Santa María, s.e. 2 p.
28. Dutra de Moraes, P. V.; Agostinetto, D.; Panozzo, L. E.; Oliveira, C.; Kleinick, G.; Markus, C. 2013. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas e desempenho produtivo da cultura do milho. Ciencias Agrárias. 34(2): 497 – 508.
29. Eichelberger, L.; De Souza, M.; Briao, J. C. 2001. Períodos de pré-esfriamento na superação da dormência de sementes de azevém-anual (*Lolium multiflorum* Lam.). Revista Brasileira de Sementes. 23(1): 212 – 218.

30. Ernst, O.; Siri Prieto, G. 2012. Effect of legume or grass cover crops and nitrogen application rate on soil properties and corn productivity. *Agrociencia (Uruguay)*. 16(3): 294 – 301.
31. Escalante Barreras, J. L. 2007. Tasa de crecimiento, componentes químicos y morfológicos bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en Ballico Anual (*Lolium multiflorum*) diploide vs tetraploide en el Valle de Mexicali, B. C. Tesis Mag. Ciencias en Sistemas de Producción Animal. Baja California, México. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas. 84 p.
32. Ferber Rivera, C. 2016. Efecto de distintas coberturas invernales en la dinámica del enmalezamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía. 78 p.
33. Finch-Savage, W. E.; Leubner-Metzger, G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*. 171(3): 501 – 523.
34. Formoso, F. 2009. Aspectos a considerar para mejorar la producción y utilización de forraje durante otoño e invierno. *Revista INIA*. no. 17: 41– 47.
35. _____. 2012. Mezclas forrajeras raigrás más leguminosas: ventajas y limitantes. *Revista INIA*. no. 28: 34 – 40.
36. Gazziero, D.; Adegas, F. S.; Vargas, L.; Karam, D.; Fornarolli, D.; Voll, E. 2013. Manejo de plantas daninhas resistentes ao glifosato no Brasil. In: Ríos, A. ed. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. Montevideo, INIA. pp. 111 – 118. (Serie Técnica no. 204).
37. Gigón, R.; Vigna, M.; Yannicari, M. 2017. Manejo de malezas problemas: Raigrás (*Lolium spp.*): bases para su manejo y control en sistemas de producción. *Red de Conocimiento de Malezas Resistentes*. 8: 4 – 27.
38. Giménez, A.; Ríos, A.; García, A. 1992. Malezas problemas en cereales de invierno: Raigrás (*Lolium multiflorum*). Montevideo, INIA. 12 p. (Boletín Divulgación no. 26).
39. Goggin, D. E.; Steadman, K. J.; Emery, R. J.; Farrow, S. C.; Benech-Arnold, R. L.; Powles, S. B. 2009. ABA inhibits germination but not dormancy release in mature imbibed seeds of *Lolium rigidum* Gaud. *Journal of Experimental Botany*. 60(12): 3387 – 3396.
40. Gorelik Zonis, Y. G.; Re, A. E. 2021. Verdeos de invierno: evaluación especies, cultivares y fertilización nitrogenada en Vertisoles de Entre Ríos bajo pastoreo. Concepción del Uruguay, INTA. 8 p.
41. Gorriti Isern, P.; Pérez del Castillo Raquet, M. 1998. Respuesta a fuentes, niveles y localización del nitrógeno en la producción y calidad de

- semilla de *Festuca arundinacea* Schreb. cv. *Tacuabé*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70 p.
42. Gutiérrez, F.; Calistro, E. 2013. Nuevas opciones en verdes de raigrás para las siembras de otoño. Revista INIA. no. 32: 28 – 30.
 43. Hagen, N. 2012. Efecto de la fertilización, en Promoción de Rye Grass (*Lolium multiflorum*). (en línea). Tesis Ing. Producción Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Universidad Católica Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. 26 p. Consultado 06 oct. 2021. Disponible en <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/efecto-fertilizacion-promocion-rye-grass.pdf>.
 44. Henry, T. 1952. El *Lolium multiflorum* “La Estanzuela 284”. Archivo Fitotécnico del Uruguay. no. 5: 231 – 235.
 45. Humphreys, M.; Feuerstein, U.; Vandewalle, M.; Baert, J. 2010. Ryegrasses. In: Boller, B.; Posselt, U.; Veronesi, F. eds. Fodder crops and amenity grasses: handbook of plant breeding. New York, Springer. pp 211 – 260. Consultado jun. 2022. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0760-8_10.
 46. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2021. Unidad de estadística. (en línea). Montevideo. Consultado 12 oct. 2021. Disponible en <https://www.inase.uy/Estadistica/>.
 47. Jácome, C.; Mittelmann, A.; Gonçalves, M.; Rodrigues, P.; Fernandes, C.; Fernandez, D. 2013. Superação da dormência em sementes de azevém da cultivar BRS ponteio. Pelotas, EMBRAPA. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento no. 196).
 48. Krolow, H. R.; Da Silva Fan, P. A.; Da Cruz Paslauski, B. M.; Welter, L. J.; Oelke, C. A. 2011. Avaliação do desenvolvimento vegetativo de genotipos de azevém diploide e tetraploide na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. (en línea). Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega. no. 9: s.p. Consultado 15 nov. 2021. Disponible en https://gepsaa.files.wordpress.com/2012/05/avaliac3a7c3a3o-do-desenvolvimento-vegetativo-de-genc3b3tipo-de-azevc3a9m-diplc3b3ide-e-tetraplc3b3ide-na-fronteira-oeste-do-rio-grande-do-sul_2011.pdf.
 49. Lanz, J.; Bolaños, V. R. 2019. Evaluación de variabilidad entre individuos de *Lolium multiflorum* provenientes de tres ambientes contrastantes del pastizal de la Pampa Deprimida. Investigación Joven. 6(2): 52 – 53.
 50. Long, R. L.; Gorecki, M. J.; Renton, M.; Scott, J. K.; Colville, L.; Goggin, D. E.; Commander, L. E.; Westcott, D. A.; Cherry, H.; Finch-Savage, W.

- E. 2015. The ecophysiology of seed persistence: a mechanistic view of the journey to germination or demise. *Biological Reviews*. 90(1): 31 – 59.
51. Musunda, B. Z.; Chiduza, C.; Muchaonyerwa, P. 2015. Biomass accumulation and weed suppression by winter cereal cover crops in maize-based cropping systems in the eastern cape, South Africa. *International Journal of Agriculture and Biology*. 17(3): 561 – 567.
52. Nakagawa, J.; Cavariani, C.; Guissem, J. M.; Gaspar, C. M. 2000. Armazenamento de sementes de azevém-anual colhidas em diferentes épocas e estádios de maturação. *Revista Brasileira de Sementes*. 22(2): 185 – 192.
53. Oliveira, L. V.; Ferreira, O. G. L.; Coelho, R. A. T.; Farias, O. P.; Silveira, R. F. 2014. Características produtivas e morfofisiológicas de cultivares de azevém. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 44(2): 191 – 197.
54. Otondo, J.; Cicchino, M.; Melani, E.; Bailleres, M. 2021. Evaluación de variedades comerciales de raigrás anual. (en línea). Buenos Aires, INTA. 12 p. Consultado 27 set. 2021. Disponible en https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/9523/INTA_CRBsAsSur_EEACuencadelSalado_Otondo_J_evaluacion_variedades_comerciales_raigras.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
55. Pacheco, C. M.; De Faccio, P. C.; Fernandes, G.; Devincenzi, T.; Nabinger, C.; Ávila, V. 2008. Efeito de métodos e intensidades de pastejo sobre a ressemeadura natural de azevém anual. *Maringá*. 30(4): 387 – 393.
56. Papa, J. C.; Tiesca, D. 2013. Malezas en la región sojera núcleo Argentina: origen y alternativas de manejo. In: Ríos, A. ed. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. Montevideo, INIA. pp. 59 – 72. (Serie Técnica no. 204).
57. Pauletti, M. 2015. El cultivo de raigrás. *Revista Plan Agropecuario*. no. 155: 56 – 58.
58. Pedrozo Altesor, F.; Radiccioni Bachino, J.; Sommer Giambruno, I. 2018. Evaluación de distintas alternativas de verdeos de invierno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 126 p.
59. Pereira, M. 2018. ¿Es recomendable mejorar el campo natural introduciendo raigrás? (en línea, video). Montevideo, Plan Agropecuario. s.p. Consultado el 20 dic. 2021. Disponible en <https://planagropecuario.org.uy/web/webVideo/view/id/281.html>.
60. Pereira, R. 2012. Manejo da desfolha na ecofisiologia da produção de forragem e sementes de azevém anual. *Dissertação Mestre Ciências*.

- Pelotas, Brasil. Universidad Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomía Eliseu Maciel. 48 p.
61. Perrachón, J. 2009. Pensemos en los verdes de invierno. Revista Plan Agropecuario. no. 132: 42 – 46.
 62. Pristch, O. M.; Rosell, C. H. 1982. Densidades de siembra y espaciamiento en la producción de semillas de raigrás anual (*Lolium multiflorum* L.). Revista Técnica. no. 52: 1 – 9.
 63. Restovich, S. B.; Andriulo, A. E.; Améndola, C. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. Ciencia del Suelo. 29(1): 61 – 73.
 64. Ríos, A.; Fernández, G.; Collares, L. 2005. Estudio de las comunidades de malezas asociadas a los sistemas de siembra directa en Uruguay. (en línea). In: Seminario-Taller Iberoamericano (2005, Colonia del Sacramento). Resistencia a herbicidas y cultivos transgénicos. Montevideo, INIA. pp. 129 – 141. Consultado 20 jul. 2021. Disponible en http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/riosamalia.pdf.
 65. _____; Belgeri, A.; Cabrera, M.; Della Valle, E.; Ferrari, J. F.; Aristegui, M. J.; Frondoy, L.; Gómez, M. 2013. Prevención de la resistencia de raigrás anual (*Lolium multiflorum* LAM) y yerba carnícera (*Conyza bonariensis* L.) en Uruguay. In: Ríos, A. ed. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. Montevideo, INIA. pp. 83 – 97. (Serie Técnica no. 204).
 66. Rossi, C. 2017. Manual de producción de semillas de raigrás anual. Montevideo, INIA. 29 p. (Boletín de Divulgación no. 112).
 67. _____; García, M. A.; Kaspary, T.; Marques, S. 2019. Raigrás: cultivo forrajero y maleza: Consideraciones para su manejo en la fase invernal de nuestros sistemas agrícolas y agrícola-ganaderos. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 14 set. 2021. Disponible en http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20La%20Estanzuela/Actividades%202019/control%20de%20raigras_abril_2019_INIA%20La%20Estanzuela.pdf.
 68. Rouiller Borjas, P.; Scaglia Carmona, L. 2011. Evaluación de potencial alelopático y capacidad supresora sobre raigrás (*Lolium multiflorum*) en 7 cultivares de trigo (*Triticum aestivum*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 57 p.

69. Rovira, P.; Echeverría, J.; Soares de Lima, J. M. 2014. Pastoreo de raigrás como cultivo de cobertura con corderos o terneros en sistemas ganadero-agrícolas. In: Seminario de Actualización Técnica: Estrategias de Intensificación Ganadera (2014, Treinta y Tres). Montevideo, INIA. pp. 46 – 55. (Serie Actividades de Difusión no. 734).
70. Scheneiter, J. O. s.f. El raigrás anual en las regiones pampeana y sur de la Mesopotamia. (en línea). s.l., INTA. 38 p. Consultado 05 oct. 2021. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmpinta-el-raigs-anual-en-las-regiones-pampeana-y-sur-de.pdf>.
71. Schmitz, M. F.; Cechin, J.; Henckes, J. R.; Piasecki, C.; Agostinetto, D.; Vargas, L. 2019. Fitness cost and competitive ability to different ploidy levels in ryegrass genotypes. (en línea). Planta Danhina. 37: e019181921. Consultado jun. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100115>.
72. Seepaul, R.; Macoon, B.; Reddy, K. R.; Baldwin, B. 2011 Switchgrass (*Panicum virgatum* L.): intraspecific variation and thermotolerance classification using in vitro seed germination assay. American Journal of Plant Sciences. 2: 134 – 147.
73. Siri-Prieto, G.; Ernst, O. 2011. Raigrás como cultivo de cobertura: efecto del largo del período de barbecho sobre la disponibilidad de agua, el riesgo de erosión y el rendimiento de la soja. Cangüé. no. 31: 18 – 27.
74. Solís Moya, E.; Hernández Martínez, M.; Borodanenko, A.; Aguilar Acuña, J. L.; Grajeda Cabrera, O. A. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. Revista Fitotecnia Mexicana. 27(4): 323 – 332.
75. Supiciche, M. L.; Longás, M. M.; Chantre, G. R.; Sabbatini, M. R.; Castro, A. M. 2018. La dormición de semillas de raigrás y su asociación a la sensibilidad y resistencia a glifosato. (en línea). AgroUNS. 15(29): 10 – 12. Consultado 12 oct. 2021. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97827>.
76. Taberner Palou, A. 1996. Biología de *Lolium rigidum* Gaud. Como planta infestante del cultivo de cebada. Aplicación al establecimiento de métodos de control. Tesis Dr. Salamanca, España. Universitat de Lleida. 86 p.
77. Tarnonsky, F. 2018. Caracterización de la producción y calidad de semillas de una promoción de especies invernales bajo pastoreo continuo y en clausura. Tesis Ing. Agr. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 44 p.

78. Tonetto, C. J.; Müller, L.; Petter Medeiros, S. L.; Manfron, P. A.; Hedlund Bandeira, A.; Pereira Morais, K.; Trindade Leal, L.; Miltemann, A.; Dourado Neto, D. 2011. Produção e composição bromatológica de genotipos diploides e tetraplóides de azevém. *Zootecnia Tropical*. 29(2): 169 – 178.
79. Vigna, M. R.; López, R.; Gigón, R. 2013. Situación de la problemática y propuestas de manejo para *Lolium* y *Avena fatua* en el Sur de Buenos Aires. *In*: Ríos, A. ed. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. Montevideo, INIA. pp. 75 – 81 (Serie Técnica no. 204).
80. Weaver, B.; Wuensch, K. L. 2013. SPSS and SAS programs for comparing Pearson correlations and OLS regression coefficients. (en línea). *Behavior Research Methods*. 45(3): 880 – 895. Consultado jun. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0289-7>.
81. Wiesner, L. E.; Grabe, D. F. 1972. Effect of temperature preconditioning and cultivar on Ryegrass (*Lolium* sp.) seed dormancy. *Crop Science*. 12(6): 760 – 764.