

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE CANOLA (*Brassica napus* L.) Y SU
RELACIÓN CON EL COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO A CAMPO

por

Franco Javier ROCHÓN SCHENCK

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2021

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. (MSc.) Silvana González

Ing. Agr. (PhD.) Marina Castro

Ing. Agr. (PhD.) Rafael Vidal

Fecha: 29 de julio de 2021

Autor: -----
Franco Javier Rochón Schenck

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis tutoras, la Ing. Agr. (MSc.) Silvana González y la Ing. Agr. (PhD.) Marina Castro, por el apoyo y seguimiento brindados tanto en la parte práctica del estudio como en la elaboración del presente trabajo.

Al personal de la estación experimental INIA La Estanzuela, encargados de las tareas de campo o de laboratorio por el apoyo brindado, especialmente a los colaboradores de evaluación de cultivares Carlos Ramallo, Carlos Leiva, Marcelo Maidana, Beatriz Castro y la Téc. Agríc. Gan. Ximena Morales. Por parte de semillas a la Téc. Arop. Liliana Benedetto y Rafael Clavijo. A Alejandra Díaz de biblioteca, quien facilitó acceso a material bibliográfico.

Al Ing. Agr. (MSc.) Ernesto Restaino gracias a quien tuve el contacto para realizar el trabajo de tesis en INIA La Estanzuela.

A mi tutor por parte de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, el Ing. Agr. (PhD.) Rafael Vidal, por el apoyo y ayuda brindados. De la misma institución agradecer al Ing. Agr. (MSc.) Victor Prieto, quien colaboró con la parte estadística, y a la Lic. Sully Toledo de biblioteca, quien efectuó las correcciones de formato del presente trabajo.

Al MSc. Ernesto Elgue quien colaboró con la parte estadística del presente trabajo.

Por último, y no menos importante, un especial agradecimiento a mi familia, amigos, compañeros de facultad, compañeros de trabajo y quienes hayan dado su apoyo en todo momento durante esta experiencia.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 CANOLA A NIVEL NACIONAL.....	3
2.2 CALIDAD DE SEMILLA.....	4
2.2.1 <u>Material genético</u>	4
2.2.2 <u>Prueba de germinación estándar</u>	4
2.2.3 <u>Vigor</u>	5
2.2.4 <u>Tamaño y peso</u>	8
2.3 REQUERIMIENTOS EDÁFICOS.....	9
2.4 MANEJO PREVIO.....	9
2.4.1 <u>Rastrojo</u>	9
2.4.2 <u>Laboreo</u>	10
2.4.3 <u>Herbicidas</u>	10
2.5 MÉTODO Y PROFUNDIDAD DE SIEMBRA.....	10
2.6 ÉPOCA DE SIEMBRA.....	12
2.6.1 <u>Humedad del suelo</u>	12
2.6.2 <u>Temperatura</u>	12
2.6.3 <u>Heladas</u>	12
2.6.4 <u>Rendimiento</u>	13
2.6.5 <u>Damping off</u>	14
2.7 DENSIDAD DE SIEMBRA.....	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
3.1 UBICACIÓN.....	16
3.2 EXPERIMENTOS DE LABORATORIO.....	16
3.2.1 <u>Lotes de semillas</u>	16
3.2.2 <u>Germinación</u>	16
3.2.3 <u>Pruebas de vigor</u>	17
3.2.3.1 Prueba de emergencia de radícula.....	17
3.2.3.2 Prueba de frío 1.....	17
3.2.3.3 Prueba de frío 2.....	17
3.2.3.4 Prueba topográfica por tetrazolio.....	18
3.3 EXPERIMENTOS DE CAMPO.....	20
3.1.1 <u>Diseño experimental</u>	20
3.3.2 <u>Manejo agronómico</u>	20
3.3.3 <u>Determinaciones pre-cosecha</u>	23
3.3.3.1 Densidad de plantas.....	24

3.3.3.2 Cobertura de la canopia.....	24
3.3.3.3 Índice verde normalizado (NDVI).....	25
3.3.4 <u>Determinaciones post-cosecha</u>	25
3.3.4.1 Biomasa sobre altura de corte.....	25
3.3.4.2 Rendimiento.....	25
3.3.4.3 Peso de mil granos.....	25
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	26
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	27
4.1 EXPERIMENTOS DE LABORATORIO.....	27
4.2 EXPERIMENTOS DE CAMPO.....	30
4.2.1 <u>Caracterización climática</u>	30
4.2.2 <u>Densidad de plantas</u>	32
4.2.3 <u>Cobertura de la canopia</u>	34
4.2.4 <u>Índice verde normalizado (NDVI)</u>	36
4.3 RELACIÓN ENTRE VARIABLES DE LABORATORIO Y CAMPO.....	37
4.4 CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES PRE-COSECHA Y POST-COSECHA.....	40
5. <u>CONCLUSIONES</u>	42
6. <u>RESUMEN</u>	44
7. <u>SUMMARY</u>	46
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	48
9. <u>ANEXOS</u>	59

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Caracterización de los lotes de semillas.....	16
2. Resultados del análisis de suelo antes de la siembra (06/03/2019) de los experimentos en las zonas “Alto” y “Bajo” correspondiente a las fechas de siembra de mayo y junio respectivamente.....	21
3. Resultados del análisis de suelo al momento de la siembra de los experimentos en las zonas “Alto” y “Bajo” correspondiente a las fechas de siembra de mayo y junio respectivamente.....	21
4. Resultados del análisis de suelo correspondiente a la primera fecha de siembra, cultivo en estado de roseta.....	22
5. Manejo agronómico de los experimentos a campo.....	23
6. Peso de mil semillas (PMS), germinación (G) y de vigor evaluado por la prueba de emergencia de radícula (ER), prueba de frío 1 (PF1), prueba de frío 2 (PF2) y prueba topográfica por tetrazolio (TZ) de semillas de cinco lotes de semillas de colza.....	28
7. Coeficientes de correlación (r) de Spearman entre el peso de mil semillas (PMS), la prueba de emergencia de radícula (ER), la prueba de frío 1 (PF1), prueba de frío 2 (PF2) y la prueba topográfica por tetrazolio (TZ) con la germinación para semillas de cinco lotes de canola.....	29
8. Coeficientes de correlación (r) de Spearman entre el peso de mil semillas (PMS), la prueba de frío 1 (PF1), prueba de frío 2 (PF2) y la prueba topográfica por tetrazolio (TZ) con la prueba de emergencia de radícula (ER) para semillas de cinco lotes de canola.....	30
9. Medias de densidad de plantas/m ² para cada lote de semillas y para cada fecha de siembra a los 7 y 14 días post-emergencia y para todo el período de evaluación (7 días post-emergencia a elongación).....	34
10. Medias de cobertura de la canopia (%) para cada lote de semillas y para cada fecha de siembra a los 14 días post-emergencia y para todo el período de evaluación (14 días post-emergencia a elongación).....	36
11. Medias de valores de índice verde normalizado (NDVI) para cada lote de semillas en cada fecha de siembra a los 14 días post-emergencia.....	37
12. Coeficientes de determinación (R ²) obtenidos a partir del análisis de regresión lineal entre las pruebas de laboratorio y las variables obtenidas a campo.....	38

13. Medias de variables pre-cosecha y post-cosecha para cada fecha de siembra....	41
Figura No.	
1. Emergencia de radícula de los lotes de semilla (1 al 5) al quinto día del inicio de la prueba.....	17
2. Semillas en recipientes de vidrio, con solución de tetrazolio al 1%.....	18
3. Color y patrón de tinción de semillas de canola luego de ser sometidas a la prueba topográfica por tetrazolio.....	19
4. Materiales utilizados para realizar el corte y corte sobre una semilla de canola...	20
5. Diferentes resultados de cobertura obtenidos en la aplicación.....	25
6. Precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio históricas (serie 1965-2018) y para el período enero a diciembre 2019 en INIA La Estanzuela....	31
7. Temperatura media (°C) decádica promedio históricas (serie 1965-2018) y para el período enero a diciembre 2019 en INIA La Estanzuela.....	31
8. Número de días con heladas agrometeorológicas decádicas promedio históricas (serie 1965-2018) y para el período enero a diciembre 2019 en INIA La Estanzuela.....	32

1. INTRODUCCIÓN

La colza es un cultivo oleaginoso invernal, comprende principalmente tres especies: *B. napus* L., *B. juncea* L. y *B. rapa* L. ex *campestris* L. Se cree que el centro de origen de *B. napus* es Europa y que, probablemente, se originó a partir de cruzamientos entre *B. rapa* L. y *B. oleracea* L.

El cultivo fue introducido en Canadá durante la Segunda Guerra Mundial, con la finalidad de producir aceite como lubricante para las máquinas a vapor de barcos y trenes. La caída en desuso de la máquina de vapor estimuló la búsqueda de otros usos para este cultivo que había demostrado buena adaptación a las condiciones de las praderas canadienses.

El uso de aceite de colza para la alimentación humana era tóxico por su alto nivel de ácido erúxico. La torta de colza, subproducto del prensado de las semillas, presentaba ciertas limitaciones para la alimentación animal porque contenía cantidades elevadas de glucosinolatos que la hacían poco apetecible y podían causar enfermedades en el ganado. Estas limitantes fueron levantadas en 1974 por mejoradores genéticos de la Universidad de Manitoba con el desarrollo del cultivar “doublé low” (cv. Tower).

El nuevo tipo de colza se denominó “canola” (Canadian Oil Low Acid) y producía un aceite de alta calidad. Esto le confirió una gran ventaja y lo posicionó como uno de los principales cultivos oleaginosos a nivel mundial.

En Uruguay, debido a los bajos precios del trigo a principios de la década de los 90, la canola ingresó al país mediante un plan de introducción y desarrollo implementado por la Central Cooperativa de Granos (actual COPAGRAN). Al mismo tiempo, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), con apoyo económico de la Central de Granos, comenzó a realizar investigación de carácter exploratorio en distintas áreas vinculadas al manejo del cultivo. Actualmente, a nivel nacional, la superficie de siembra de canola ha tenido un crecimiento sostenido dentro del área agrícola.

Uno de los principales problemas que presenta el cultivo de canola es la baja eficiencia de implantación, especialmente cuando se retrasa la época de siembra. Esto depende de varios factores, uno de ellos es la utilización de semillas de calidad, con alto potencial fisiológico, capaces de germinar uniforme y rápidamente sobre una amplia variación de ambientes. La rapidez y el sincronismo del proceso de germinación son muy importantes porque permiten reducir el grado de exposición de las semillas y las plántulas a factores adversos (Marcos Filho, 2015) y, además, compiten con malezas por los recursos desde el momento de la emergencia.

Los resultados de la prueba de germinación estándar se utilizan para predecir la densidad de plantas en el campo. Una desventaja de la prueba es que no detecta diferencias en la performance a campo, bajo condiciones sub-óptimas, entre lotes de semillas con alta germinación (Hampton y TeKrony, 1995). Por esta razón, es necesario disponer de

pruebas para medir el vigor de las semillas, definido por ISTA (2016) como la suma de las propiedades que determinan la actividad y performance de lotes de semilla de germinación aceptable en un amplio rango de ambientes.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la germinación y diferentes métodos de estimación de vigor (prueba de emergencia de radícula, prueba de frío y prueba topográfica por tetrazolio) de semillas de canola y estudiar su relación con el comportamiento a campo del cultivo, en dos fechas de siembra, mayo y junio.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CANOLA A NIVEL NACIONAL

En Uruguay, la canola se posicionó como una alternativa a los cultivos de invierno, como el trigo y la cebada. El cultivo se ubicó como una buena opción de diversificación debido a que presenta un rendimiento potencial mayor a 3 mil kg/ha y aporta beneficios a los esquemas de rotación agrícola (Alves, 2000). En sistemas de siembra directa o mínimo laboreo es clave para minimizar problemas de enfermedades en los cereales de invierno. También, deja rastrojo con baja cantidad de material, lo cual es bueno para la siembra de cultivos de verano de segunda. Sumado a lo anterior, la siembra se puede realizar en fechas equivalentes a siembras de primera, esto es debido a que la cosecha de canola se realiza en los meses de octubre y noviembre (Alves, 2000).

En el Registro Nacional de Cultivares se encuentran registrados 19 cultivares, de los cuales 13 son híbridos y 6 variedades de polinización abierta, no se dispone de cultivares que sean evento de un organismo genéticamente modificado (OGM). Los países de origen de los cultivares son Alemania, Argentina, Australia, Estados Unidos, Francia, Paraguay y Suecia (INASE, s.f.).

El área de siembra de canola se incrementó en los últimos años. En el ciclo 2016/2017 la superficie de siembra fue 26 mil ha, luego, en 2017/2018 y 2018/2019 ascendió a 44 mil ha. En 2019/2020 fue 65 mil ha y, finalmente, en 2020/2021 se sembraron 102 mil ha. Este aumento se debió principalmente a la participación de nuevos actores en la producción del cultivo, ya que ALUR (Alcoholes del Uruguay) satisface su demanda con un área menor (MGAP. OPYPA, 2020). El incremento del área estuvo acompañado de un aumento de producción, en el ciclo 2019/2020 el rendimiento fue 100 mil toneladas (31 % más que la zafra anterior), a pesar de que, este fue inferior a los esperados (MGAP. OPYPA 2019, 2020).

Las exportaciones de granos de crucíferas oleaginosas (*Brassica napus* L. y *Brassica carinata* L.), en el ciclo 2019/2020, sumaron un volumen de aproximadamente 62 mil toneladas por un valor de 25 millones de dólares, los principales destinos fueron Reino Unido (41 %), Israel (27 %), Estados Unidos (13 %) y Holanda (5 %). Las importaciones de derivados del cultivo, principalmente aceite de canola, disminuyeron en los últimos años. Esto podría deberse al aumento del área de cultivo a nivel nacional y su disposición como materia prima (MGAP. OPYPA, 2020).

Uno de los principales usos de la canola es la elaboración de biodiesel. Del proceso de industrialización también se obtiene harina proteica, que se utiliza como alimento animal y glicerol (ANCAP, s.f.). Además, se extrae aceite para consumo humano, este producto es elaborado por la aceitera COUSA y se presenta al público como “ÓPTIMO Canola” (MGAP. OPYPA, 2019).

2.2 CALIDAD DE SEMILLA

Una semilla de buena calidad es un insumo de gran importancia al momento de realizar una actividad agrícola, porque contribuye a lograr una buena producción en términos de calidad y rentabilidad (Doria, 2010).

Semillas con mayor germinación y vigor tienen mayor tolerancia a condiciones estresantes luego de la siembra. Por lo cual, incrementan la velocidad de emergencia y cobertura del suelo y, de esta manera, compiten con malezas, lo que se traduce en mayor eficiencia del uso del agua (Tortero et al., 2021).

2.2.1 Material genético

Distintos estudios compararon híbridos con variedades de polinización abierta y determinaron que, a igual germinación y densidad de siembra de los lotes, se obtuvo mayor densidad de plantas emergidas en las variedades de polinización abierta. Esto se explica por un mayor tamaño en las semillas de los híbridos, por lo cual, el número de semillas sembradas fue menor (Clayton et al. 1999, Brandt et al. 2002, 2007, Mahli et al. 2007).

En otro experimento, Clayton et al. (1999) sembraron canola con la misma densidad de semillas viables por unidad de área y obtuvieron una emergencia 20 % superior para el híbrido con respecto a la variedad de polinización abierta. También se registró mayor porcentaje de sobrevivencia de plantas para el híbrido (44 %) que para la variedad de polinización abierta (37 %).

Brill et al. (2015) determinaron que, en condiciones de invernáculo, la emergencia de los híbridos fue mayor a la de las variedades de polinización abierta, y lo asociaron con un mayor tamaño de la semilla. De igual manera, en las variedades de polinización abierta, al aumentar el tamaño de semilla también aumentó el porcentaje de emergencia.

Brandt et al. (2007) registraron que, en promedio, los híbridos produjeron más biomasa y rendimiento en grano que las variedades de polinización abierta, incrementos de 822 kg ha⁻¹ y 200 kg ha⁻¹, respectivamente.

2.2.2 Germinación

La germinación de una semilla es la emergencia y desarrollo de la plántula, se evalúa en una etapa de crecimiento en que el aspecto de sus estructuras esenciales indica si es capaz de desarrollarse en una planta normal en condiciones de campo favorables (ISTA, 2016).

Para asegurar una instalación del cultivo rápida y uniforme, se deberían sembrar semillas con un porcentaje de germinación mayor a 85 %. Este valor depende de factores como el tamaño de la semilla, el manejo del cultivo, el momento de cosecha, procesamiento y almacenamiento de la semilla (Hertel y Edwards, 2011).

Amirmoradi y Feizi (2017), para semillas de canola, observaron que, germinaciones más lentas producían un gran número de plántulas anormales, lo cual es una señal de deterioro de la semilla. Esto deriva en una pobre emergencia de plantas y problemas en el establecimiento del cultivo, lo que se traduce en un menor rendimiento de grano. También señalan que un conteo temprano de semillas germinadas se puede utilizar como indicador de la viabilidad del lote.

2.2.3 Vigor

El vigor de la semilla es definido por AOSA (1983) como aquellas propiedades de la semilla que determinan el potencial para una emergencia rápida y uniforme, y el desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de campo.

El vigor depende de la constitución genética; condiciones ambientales y nutricionales de la planta madre durante la formación de la semilla; madurez de la semilla; tamaño, peso y densidad; daños mecánicos; deterioro y envejecimiento y, por último, contaminación por organismos patógenos (Pérez y Pita, 2001).

Es de vital importancia conocer el vigor de las semillas que se utilizarán para la siembra, de acuerdo con Elliot y Pérez (2007), con la utilización de semillas vigorosas se puede obtener una adecuada población de plantas, aún bajo condiciones de campo estresantes.

Lotes de semilla con igual o similar germinación pueden diferir en cuanto al vigor, ya que la pérdida de este antecede a la pérdida de germinación. Semillas con bajo vigor ven comprometida su germinación y emergencia, esto es debido a la reducción de los procesos fisiológicos involucrados (Manfrini, 2004).

Según Manjarrez et al. (2017), el vigor de la semilla de canola se ve afectado por las condiciones del ambiente de producción, el manejo pre y post-cosecha del cultivo. Factores que afectan negativamente el vigor de la semilla son: inadecuada nutrición, ataque de enfermedades, cosecha demasiado temprana, daño climático durante la madurez, daño físico durante la cosecha y transporte, almacenamiento inadecuado y edad de la semilla.

El objetivo de una prueba de vigor es evaluar o detectar diferencias significativas en la calidad fisiológica de lotes de semilla con germinación aceptable. Una prueba de vigor brinda información más precisa de la calidad de un lote de semillas que la prueba de germinación estándar. Consecuentemente permite elaborar un ranking de lotes de semilla de buena germinación en base a su calidad física y fisiológica. De esta forma, se puede conocer el potencial de los lotes de semillas con respecto a la emergencia a campo y/o su almacenamiento (Manfrini, 2004). Los resultados de las pruebas de vigor de lotes de semillas pueden ser utilizados para decidir la fecha de siembra, según las condiciones ambientales presentes en cada una de ellas (Milošević et al., 2010).

Según Gallo et al. (2017), la prueba de emergencia de radícula es una prueba de vigor validada internacionalmente por ISTA (International Seed Testing Association) para semillas de canola. Luego de la siembra ocurre la germinación, la cual consta de 3 etapas: imbibición, inicio de la actividad enzimática y emergencia de radícula. El tiempo en el que estas etapas se completan es variable entre lotes de semillas de una misma especie o entre semillas del mismo lote. Estos autores también mencionan que en lotes con semillas más deterioradas el tiempo es mayor con respecto a lotes con semillas menos deterioradas o más vigorosas, debido a que deben reparar daños a nivel celular. Este tiempo refleja el grado de deterioro de las semillas, el cual comienza luego de la madurez fisiológica y continúa mientras las semillas permanecen en la planta, durante la cosecha, el acondicionamiento y el almacenamiento de las semillas.

Los resultados de esta prueba no predicen de forma exacta el número de semillas que germinarán a campo. La correcta interpretación de los datos se aborda desde el concepto de probabilidad que tendrán distintos lotes de semillas de germinar y emerger exitosamente a campo bajo condiciones ambientales variadas (Gallo et al., 2017).

Una ventaja de esta prueba con respecto a otras pruebas de vigor es la rapidez con que se obtienen los resultados. En este sentido, Matthews et al. (2012), para semillas de canola, recomendaron realizar la prueba de emergencia de radícula juntamente con la prueba de germinación, a una temperatura de 20 °C y realizar el conteo de radículas a las 30 horas. Los mismos autores también reportaron una relación significativa ($p < 0,01$) entre la prueba de emergencia de radícula realizada bajo los parámetros anteriormente mencionados y la prueba de emergencia de plántulas a campo a los 7 días post-emergencia ($R^2 = 0,96$) y en el momento de máxima emergencia de plántulas ($R^2 = 0,71$).

Según Ozden et al. (2018), la prueba de emergencia de radícula presentó un buen potencial para predecir el número de plántulas normales de lotes de semillas de berenjena (*Solanum melongena* L.) en condiciones de laboratorio. También registró una alta relación con el tiempo medio de germinación, en condiciones de temperatura constante (25 °C, $R^2 = 0,77$) y en condiciones de temperatura alternada (20-30 °C, $R^2 = 0,86$).

En la prueba de frío las semillas son expuestas a condiciones de baja temperatura, (5 a 7,5 °C) por un período de 7 días, lo cual causa estrés sobre la misma. Esta prueba de vigor principalmente se utiliza en el maíz (*Zea mays* L.), especie en la cual los resultados de germinación obtenidos de la prueba son el mejor indicador de la germinación a campo (Milošević et al., 2010).

Exponer las semillas a bajas temperaturas y altos niveles de humedad es una buena manera de que las mismas expresen su condición fisiológica, a través de la velocidad y uniformidad de la germinación y de la velocidad con la que las plantas emergen (Craviotto y Arango, 2009).

Elias y Copeland (1997) reportaron diferencias entre lotes de semillas de canola de diferente calidad luego de someterlos a una prueba de frío, en la cual las semillas se expusieron durante 5 días a 5 °C antes de ser colocadas a germinar durante 5 días a 22 °C.

Elliott et al. (2005) reportaron que los valores de germinación de las semillas de canola luego de ser expuestas a la prueba de frío presentaron alta correlación con los valores de emergencia a campo ($r = 0,68-0,85$) y con la biomasa ($r = 0,61-0,94$), estos rangos se deben a que el trabajo se realizó en condiciones de suelo caliente y seco, suelo frío y húmedo, y, suelo frío y seco.

Leeks (2006) no reportó diferencias en los resultados obtenidos de la prueba de frío aplicada a lotes de semilla de canola con distinto vigor y valores de germinación mayores al 90 %.

La prueba topográfica por tetrazolio diferencia los tejidos vivos de los muertos en base a la actividad de las enzimas deshidrogenasas. La actividad de estas enzimas se incrementa al hidratar las semillas, esto resulta en la liberación de iones de hidrógeno que reducen la solución de tetrazolio incolora a formazán, color rojo. El formazán tiñe a las células vivas de color rojo mientras que las células muertas permanecen sin colorear (Ruiz, 2009).

Faber et al. (2015) evaluaron la viabilidad de lotes de semillas de canola con valores de germinación significativamente diferentes y superiores al 80 %, mediante la prueba topográfica por tetrazolio. Los resultados de la prueba permitieron clasificar los lotes en dos grupos de viabilidad significativamente diferentes. Estos resultados se obtuvieron luego de hidratar las semillas durante 16 horas a 20 °C y posterior inmersión en una solución de tetrazolio al 0,5 % durante 6 horas a 40 °C.

Nery et al. (2015) estudiaron diferentes concentraciones de sal tetrazolio (1 %, 0,2 %, 0,3 % y 0,4 %) y temperaturas de tinción (25 °C, 30 °C, 35 °C y 40 °C), para evaluar la viabilidad de las semillas de rábano (*Raphanus sativus* L.). Observaron que, con la concentración de 0,3 % a 30 °C, se obtuvo un tono rosa en las semillas que facilitó su separación en viables y no viables. En concentraciones menores a 0,3 % la tinción de las semillas fue muy débil, mientras que, en concentraciones mayores la tinción fue roja intensa, en ambos casos fue difícil evaluar la viabilidad de las semillas. Con respecto a las temperaturas, todas las concentraciones evaluadas a 40 °C colorearon fuertemente las semillas y dificultaron su evaluación. Estos autores mencionaron que la dureza de las cubiertas de las semillas de rábano limitó la penetración de la sal de tetrazolio y las semillas presentaron coloración no uniforme o permanecieron sin teñir. En este sentido, mencionaron la importancia de realizar la pre-imbibición de las semillas durante 6 horas en agua y un corte longitudinal a través del embrión previo a la inmersión en la solución de tetrazolio.

Un punto para tener en consideración en la prueba topográfica por tetrazolio es que, la interpretación visual de la tinción es subjetiva y requiere experiencia, especialmente en semillas pequeñas (Howarth y Stanwood, 1993).

2.2.4 Tamaño y peso

Estas características afectan la germinación de la semilla, Marañón y Grubb (1993) para semillas de 27 especies, determinaron una correlación negativa entre el tamaño y peso de la semilla con la tasa de crecimiento relativo de las plántulas, debido a que las semillas pequeñas presentaron mayor germinación que semillas grandes en un tiempo dado. Estos autores atribuyeron los resultados a que las semillas de menor tamaño presentan células más pequeñas y con menor contenido de ADN, por lo cual el tiempo de división celular es menor, lo que se traduce en un menor tiempo de germinación.

Distintos trabajos de investigación han señalado que, al aumentar el tamaño y el peso de las semillas, se obtiene una mejor instalación del cultivo de canola. Brill et al. (2014), Harker et al. (2017) reportaron que lotes con peso de mil semillas mayores a 5 g obtuvieron una mayor densidad de plántulas y una mejor implantación en el cultivo de canola con respecto a semillas de menor peso. Brill et al. (2014) también establecieron un rango de diámetro de semilla (2 mm a 2,4 mm) con el cual se obtuvo un establecimiento adecuado del cultivo de canola.

Elliott et al. (2007, 2008) estudiaron diferentes semillas con diámetros en el rango de 1,4 mm a 2 mm y 1,4 mm a 2,2 mm, respectivamente, y observaron que, 21 días después de la siembra, al aumentar el diámetro de la semilla, aumentó el número de plántulas y fue menor el daño debido al escarabajo de la especie *Phyllotreta vittula*, el cual puede comprometer el establecimiento del cultivo.

Por otra parte, Harker et al. (2015) compararon 4 lotes de semillas con pesos de mil semillas entre 3,9 g y 5,7 g, y concluyeron que, no hubo diferencias significativas en la emergencia de los distintos lotes. Elliott et al. (2005) reportaron una baja correlación entre el peso de mil semillas de canola y el establecimiento a campo.

Komba et al. (2007) estudiaron 6 lotes de semilla de kale (*Brassica oleracea* L.) en los cuales las semillas fueron clasificadas según tamaño como grandes, medianas, pequeñas y muy pequeñas. No observaron que las semillas grandes tuviesen mayor vigor que las semillas pequeñas.

González y Díaz¹ estudiaron el vigor (germinación a los 5 días a 10 °C) de cuatro lotes de semillas de canola con distintos pesos de mil semillas (2,6 g; 3,3 g; 3,9 g y 4,1 g) y observaron que la correlación entre el peso de mil semillas y el vigor fue positiva y alta ($r = 0,88$ %). En base a los resultados obtenidos recomendaron usar lotes de semillas de canola de buena calidad, adecuado peso de mil semillas y germinación debido al beneficio

¹González, S.; Díaz, J. 2014. Ensayo VTX. (sin publicar).

que esto representó sobre el vigor del lote y, consecuentemente, sobre la capacidad de tolerar condiciones de estrés.

2.3 REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

De acuerdo con Villarías (2011) la colza se puede cultivar en diferentes tipos de suelos, desde pesados arcillosos hasta ligeramente arenosos, pero los más adecuados son los suelos profundos de textura media, francos o franco-limosos, con buen contenido de materia orgánica. En cuanto a la acidez del suelo, el rango óptimo de pH para el desarrollo del cultivo es de 6 a 7,5, no obstante, el cultivo consigue un buen desarrollo en un rango de pH de 5,5 a 8. En Uruguay, la acidez no es una limitante para el crecimiento del cultivo, ya que la agricultura se realiza mayormente sobre suelos melánicos del litoral oeste, los cuales presentan valores de $\text{pH} > 5,5$ (INIA, 2015).

Se deben evitar suelos compactados o con mal drenaje, principalmente en años lluviosos, debido a que las plantas son muy sensibles al exceso hídrico (De León et al., 1978).

2.4 MANEJO PREVIO

2.4.1 Rastrojo

Se denomina rastrojo a las malezas y restos de cultivo que cubren el suelo luego de la cosecha (Ruiz 2015, Ibarguren et al. 2020).

Según Ferreira y Ferreira (2014), la cantidad de rastrojo depende del tipo de cultivo y el rendimiento que el mismo alcanza. Hay cultivos que producen grandes cantidades de rastrojo (e.g. cereales de invierno y verano) y otros que producen menores cantidades de rastrojo (e.g. soja, girasol, algodón y lino). Por otra parte, condiciones climáticas desfavorables durante el desarrollo de los cultivos conducen a menores rendimientos y, consecuentemente, las cantidades de rastrojo disminuyen.

La composición química de los restos vegetales que conforman el rastrojo aporta a la calidad de este. Esta composición varía según los principales constituyentes orgánicos de los vegetales, los cuales se clasifican en: celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, fracción soluble al agua y fracción soluble en éter y alcohol (Alexander, citado por Morón, 2001).

Aguirre y Uriarte (2010) mencionaron que, bajo siembra directa, la implantación de canola fue mayor en situaciones sin rastrojo que en situaciones con rastrojo de trigo/soja de segunda. Sin embargo, Villar y Cencig (2008) reportaron que, en sistemas de siembra directa, no hubo diferencias significativas en el número de plantas emergidas, entre tratamientos que consistían en la remoción de rastrojo de soja antes de la siembra y tratamientos con cantidades de rastrojo promedio de $4641 \text{ kg MS ha}^{-1}$ y $4142 \text{ kg MS ha}^{-1}$. También mencionaron que el número de plantas disminuyó levemente con la presencia de rastrojo, mientras que, en las parcelas con remoción de rastrojo, el número de plantas

aumentó levemente desde la emergencia en adelante. Por otra parte, Cencig et al. (2011a) determinaron que cantidades elevadas de rastrojo de soja, 7640 kg MS ha⁻¹, no interfirieron en la emergencia del cultivo de canola, pero incrementaron el efecto nocivo de las heladas sobre las plántulas.

Hossain (2019) mencionó que, en siembra directa, el porcentaje de emergencia de canola fue mayor en barbecho químico que en rastrojo de lenteja o trigo.

La composición del rastrojo también es importante. Cencig y Villar (2011b), Coll (2012) determinaron que en los rastrojos de maíz hubo menores valores de emergencia de canola que en los rastrojos de soja de primera y trigo/soja de segunda.

2.4.2 Laboreo

En un estudio realizado en Canadá, Arshad y Gill (1997) reportaron que la población de plántulas de canola fue menor en sistemas con laboreo convencional que en sistemas de siembra directa. Esto se debió a que con laboreo convencional la cama de siembra es más fría y el contenido de humedad en el suelo es menor, ya que, a diferencia de la siembra directa, no se tiene la presencia de rastrojo que mantenga la temperatura del suelo y ayude a reducir la evaporación de agua.

Formoso (2008) con relación a leguminosas forrajeras, las cuales son comparables con canola por su tamaño de semilla, mencionó que una cama de siembra de calidad es fundamental para una óptima implantación. Para que una semilla viable germine se necesita disponibilidad de agua durante el proceso de germinación, si este suministro se interrumpe, el embrión muere y la implantación se reduce. Para que esto ocurra es necesario un buen contacto semilla-suelo, el cual está dado por los restos vegetales, la estructura del suelo en su parte superficial donde se ubica la cama de siembra y agua.

2.4.3 Herbicidas

En Brasil, Oliveira (2001) detectó que aplicaciones de alachlor + atrazina en maíz e imazaquin en soja, a dosis recomendada (1430 + 1430 g ha⁻¹ y 150 g de equivalente ácido ha⁻¹, respectivamente) y al doble de dicha dosis, redujeron la germinación de canola cuando se sembró 30 o 60 días después de la aplicación. En siembras realizadas a partir de 90 días después de la aplicación, no se identificaron interferencias de los herbicidas con el crecimiento del cultivo.

2.5 MÉTODO Y PROFUNDIDAD DE SIEMBRA

Khan et al. (2000), Sarkees (2013) compararon los métodos de siembra a chorrillo y al voleo sobre la densidad de plantas del cultivo de canola. Los resultados obtenidos en las investigaciones coincidieron en que las menores poblaciones de plántulas ocurrieron en las siembras al voleo.

Otro aspecto importante es la elección del mecanismo de dosificación de las semillas, este puede ser a chorrillo o neumático de precisión. En este sentido, Rahnama y Asl (2014) determinaron mayor tasa de emergencia y mayor número de plantas de canola por unidad de área cuando se utilizó el mecanismo neumático de precisión.

La profundidad de siembra incide en el vigor de las plántulas de canola, condiciona el establecimiento y desarrollo del cultivo (Hertel y Edwards, 2011). Diversos estudios han evaluado distintas profundidades de siembra en la implantación del cultivo.

Harker et al. (2012) evaluaron profundidades de siembra de 1 cm y 4 cm en distintos sitios y años y observaron que en siembras a 1 cm de profundidad los días a emergencia fueron 16, mientras que a 4 cm de profundidad los días a emergencia fueron 18. También detectaron que, cuando la siembra fue superficial, se obtuvo mayor tasa de cobertura del suelo y mayor número de plántulas por unidad de área. Para el estudio se utilizó una densidad de siembra de 150 semillas m^{-2} , la emergencia de plantas m^{-2} fue de 37 % y 45 % del total de semillas sembradas para las profundidades de siembra de 4 cm y 1 cm, respectivamente.

Resultados similares fueron reportados por Hanson et al. (2008), quienes evaluaron dos profundidades de siembra 1,9 cm y 3,8 cm en la implantación de canola y mencionaron que, con la menor profundidad de siembra, en seis de ocho sitios experimentales, se obtuvo mayor porcentaje de emergencia y mayor densidad de plántulas.

Hertel y Edwards (2011) reportaron que la profundidad de siembra de 2,5 cm fue la que maximizó el número de plantas. A profundidades de siembra menores a 2,5 cm, la semilla puede quedar expuesta a la sequía y al calor, mientras que a mayor profundidad se da un mayor crecimiento del hipocótilo en desmedro del crecimiento del sistema radicular y el área foliar.

Harker et al. (2012), junto con la profundidad de siembra (1 cm y 4 cm), estudiaron el efecto de la velocidad de siembra (6,4 $km\ h^{-1}$ y 11,2 $km\ h^{-1}$) en la implantación de canola. Velocidades de siembra de 6,4 $km\ h^{-1}$ resultaron en una mayor densidad de plantas (41 plantas m^{-2}) que a 11,2 $km\ h^{-1}$ (38 plantas m^{-2}). También observaron que la menor profundidad de siembra (1 cm) combinada con la velocidad de siembra lenta (6,4 $km\ h^{-1}$), presentó mayor (46 %) cobertura del suelo con respecto al resto de las combinaciones entre los dos parámetros (1 cm y 11,2 $km\ h^{-1}$, 4 cm y 11,2 $km\ h^{-1}$ y 4 cm y 6,4 $km\ h^{-1}$), las cuales fueron de 40 %, 37 % y 36 %, respectivamente.

Por otra parte, Taillieu (2007) evaluó tres velocidades de siembra de 4,8 $km\ h^{-1}$, 6,4 $km\ h^{-1}$ y 8 $km\ h^{-1}$, reportó que la menor velocidad fue la única que permitió obtener una profundidad de siembra adecuada (1,9 cm).

2.6 ÉPOCA DE SIEMBRA

La fecha de siembra determina las condiciones de temperatura, radiación, disponibilidad de agua y nutrientes para el desarrollo del cultivo (Otegui y López Pereira, citados por Coll y Larrosa, 2010).

2.6.1 Humedad del suelo

Debido a su tamaño reducido, la semilla de canola debe absorber gran parte de su peso en agua para un correcto desarrollo del hipocótilo y la radícula y así lograr una correcta germinación y emergencia, por lo cual es muy sensible a la falta de humedad en el suelo al momento de la siembra (Martino y Ponce de León, 1999).

De acuerdo con Hertel y Edwards (2011), la semilla de canola germina cuando su contenido de humedad llega a 24 %.

Por otro lado, el cultivo también es sensible a las condiciones de anegamiento, debido a la falta de oxígeno en el suelo. El oxígeno es fundamental para la germinación, por lo cual períodos de anegamiento muy extensos pueden causar la muerte de semillas o plántulas (Hertel y Edwards, 2011).

2.6.2 Temperatura

Hertel y Edwards (2011) mencionaron que el rango óptimo de temperatura para la germinación y emergencia es de 15 °C a 20 °C. Latifi et al. (2004) establecieron un rango más amplio, de 16 °C a 30 °C. Según estos autores, a medida que la temperatura decrece desde los 15 °C, aumentan los días para el inicio de la germinación y el porcentaje de germinación se reduce, lo cual se traduce en un menor porcentaje y uniformidad de emergencia de plántulas.

Kondra et al. (1983) también mencionaron que en la medida que se redujo la temperatura de 25 °C a 2 °C aumentaron los días para el inicio de la germinación. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de germinación final, de 90 % promedio para las distintas temperaturas evaluadas.

Silva et al. (2010) reportaron un rango más estrecho y de temperaturas más bajas para que ocurra la germinación, en este sentido, mencionaron que la temperatura óptima del suelo para siembra directa se encuentra entre 8 °C y 10 °C.

2.6.3 Heladas

Al momento de la emergencia, cuando la plántula tiene sus cotiledones expuestos, es cuando es más susceptible a las heladas ya que su punto de crecimiento no se encuentra protegido. A medida que se desarrollan las hojas verdaderas, protegen al punto de crecimiento y las plantas se tornan más tolerantes al frío (Martino y Ponce de León 1999, Hertel y Edwards 2011, Dhawan, citado por Canola Council of Canada 2020).

Sin embargo, cuando las plántulas están menos desarrolladas tienen mayor proximidad a la superficie del suelo y, consecuentemente, mayor resistencia al daño por heladas que plantas más desarrolladas (Canola Council of Canada, 2020).

Centorbi et al. (2015) evaluaron la supervivencia de plántulas de canola a los daños de heladas con y sin déficit hídrico, los resultados fueron 29 % y 52 % de sobrevivencia, respectivamente.

2.6.4 Rendimiento

A nivel nacional, Baccino y Kacevas (2016), para las condiciones del departamento de Paysandú, observaron que siembras de abril, mayo y junio no presentaron rendimientos significativamente diferentes para variedades de colza primaveral. También señalaron que, en siembras muy tempranas, existe un alto riesgo de daños por heladas tardías en la floración, lo que compromete el rendimiento. Por otra parte, siembras muy tardías, pueden derivar en floración tardía y ubicar el llenado de granos en períodos de altas temperaturas, lo cual también puede disminuir el rendimiento.

Para las condiciones de Paraná, Argentina; Coll y Larrosa (2010) indicaron que, en las fechas de siembra de abril y principios de mayo, se obtuvieron los mayores rendimientos, seguidas por fechas de fines de mayo y junio. En este sentido Coll (2011) reportó que, para la zona de Paraná, siembras posteriores a la segunda quincena de mayo redujeron el rendimiento del cultivo.

En latitudes mayores, en la zona de Barrow, Argentina; Schwab (2010) observó que, variedades primaverales obtuvieron sus mayores rendimientos en fechas de siembra de mediados de mayo, seguidas por fechas de todo el mes de junio y los menores rendimientos se dieron en fechas de siembra del mes de julio.

Angadi et al. (2003) evaluaron densidades de plantas entre 5 y 80 plantas/m² y reportaron rendimientos similares con densidades entre 40 y 80 plantas/m², lo cual demuestra la plasticidad del cultivo de canola. Por debajo de las 40 plantas/m² los rendimientos se mantuvieron cuando las condiciones climáticas fueron favorables para el desarrollo del cultivo y disminuyeron cuando las condiciones fueron desfavorables. También destacan que las condiciones ambientales presentan gran importancia en la expresión de la plasticidad del cultivo.

Ferraris et al. (2020) en el cultivo de carinata (*Brassica carinata* L.) reportaron asociación positiva y alta entre el rendimiento de grano y la biomasa aérea, tanto en etapas tempranas ($r = 0,88$) como en tardías del cultivo ($r = 0,97$). También reportaron correlación positiva y alta ($r = 0,88$) entre el rendimiento y la determinación de NDVI a inicio de floración, siendo esta última un fuerte estimador de la biomasa aérea.

2.6.5 Damping off

Esta enfermedad puede ser causada por patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp., *Phyitium* spp., *Phytophthora* sp., *Alternaria* spp. y/o *Xanthomonas* (Davies, citado por Gaetán et al. 1997, De Lemos Cardozo, citado por Martino y Ponce de León 1999). Otro patógeno causante de la enfermedad es *Phoma lingam*.²

Todos los patógenos habitan en el suelo y causan daño cuando las condiciones de crecimiento de la plántula no son las ideales, especialmente cuando la emergencia es lenta. Las condiciones climáticas de frío y humedad son óptimas para que el patógeno parasite a la semilla y/o la plántula (Cribb, 2013).

Las pérdidas en implantación se pueden dar en pre-emergencia, cuando la enfermedad provoca la muerte de la semilla, o en post-emergencia, cuando se da muerte de raíz o estrangulamiento de hipocótilo. Esta enfermedad puede afectar al cultivo hasta el estadio B4 de la escala CETIOM (Martino y Ponce de León, 1999).

2.7 DENSIDAD DE SIEMBRA

Bilgili et al. (2003) trabajaron con densidades de siembra de 50, 100, 200, 400 y 800 semillas viables por m² sobre la implantación de *Brassica rapa* L. y observaron que, al aumentar la densidad de siembra, aumentó el número de plantas por m²: 36, 51, 65, 81 y 92, respectivamente. También determinaron que la densidad de siembra no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento de grano y peso de mil semillas.

Brandt et al. (2007) evaluaron tres densidades de siembra de 2,8 kg ha⁻¹; 5,6 kg ha⁻¹ y 8,4 kg ha⁻¹, en tres localidades diferentes y en tres años diferentes, sobre la implantación de canola. Reportaron que la densidad de plantas se incrementó al aumentar la densidad de siembra en la mayoría de las localidades y años. Aunque se registraron casos donde al aumentar la densidad de siembra se redujo la densidad de plantas. Los autores mencionaron que esto se debió a la competencia por humedad y nutrientes. El rendimiento de grano se incrementó al aumentar la densidad de siembra, este aumento fue mayor cuando la densidad de siembra cambió de 2,8 kg ha⁻¹ a 5,8 kg ha⁻¹ que cuando fue de 5,8 kg ha⁻¹ a 8,4 kg ha⁻¹.

Sarkees (2013) evaluó diferentes densidades de siembra de canola (4 kg ha⁻¹, 6 kg ha⁻¹, 8 kg ha⁻¹, 10 kg ha⁻¹ y 12 kg ha⁻¹) y observó que la cantidad de plantas por m² fue mayor al aumentar la densidad de siembra, 55, 91, 139, 244 y 269 plantas por m², respectivamente. No obstante, la menor densidad de siembra fue la que presentó el mayor peso de mil semillas (1,8 g) y el mayor rendimiento en grano (1037 kg ha⁻¹). El índice de cosecha presentó valores fluctuantes de 31 %, 36 %, 35 %, 33 % y 39 % al aumentar las densidades de siembra de 4 kg ha⁻¹, 6 kg ha⁻¹, 8 kg ha⁻¹, 10 kg ha⁻¹ y 12 kg ha⁻¹, respectivamente.

²Stewart, S. 2021. Com. personal.

Harker et al. (2015) utilizaron densidades de siembra de canola de 75 y 150 semillas por m² y observaron que, al aumentar la densidad de siembra aumentó el número de plantas por m² de 41 a 83. La biomasa del cultivo en el estado de 6 hojas fue mayor para la mayor densidad de siembra, también fue mayor la cobertura del suelo lo que se tradujo en una mayor competencia del cultivo con las malezas por los recursos disponibles. El peso de mil semillas también fue mayor para la densidad de siembra de 150 semillas por m², no obstante, no se observaron diferencias de rendimiento entre ambas densidades de siembra.

Möller y Meikle (2018) determinaron una correlación positiva y significativa ($r = 0,78$; $p < 0,0001$) entre el número de plantas iniciales y la mortalidad de plantas en Carinata (*Brassica carinata* A. Braun). Por lo cual no sería rentable sembrar altas densidades, que generen mayores costos al productor, las cuales presentarán alta mortalidad de plantas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El estudio fue conducido en la estación experimental del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Estanzuela, Colonia, Uruguay (34° 20' 23,72'' S - 57° 41' 39,48'' O), entre los meses de marzo de 2019 y diciembre de 2019.

3.2 EXPERIMENTOS DE LABORATORIO

3.2.1 Lotes de semillas

Para evaluar la capacidad predictiva de diferentes pruebas de vigor respecto a la implantación de canola, se solicitaron muestras de lotes de semillas a diferentes empresas del sector semillero nacional. La cantidad de muestras que se recolectaron fue pequeña (10), lo que limitó la capacidad de selección de los lotes para el estudio. En este sentido, de los diez lotes de semillas, se seleccionaron cinco, de los cuales tres de ellos fueron híbridos y los dos restantes una variedad de polinización abierta, todos ellos con germinación >70 %.

Posteriormente, a estos cinco lotes de semillas se les determinó el vigor mediante la prueba de emergencia de radícula, único método normalizado por las reglas ISTA y se los clasificó de alto, medio y bajo vigor. De esta forma, los lotes de semillas quedaron determinados como se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Caracterización de los lotes de semillas

Lote de semillas (Id)	Cultivar	Germinación (%)	Vigor
1	Hyola 433	89	B
2	Hyola 575	96	A
3	Hyola 575	87	M
4	Rivette	96	A
5	Rivette	75	B

Id = identificación de lotes de semillas, Hyola 433 y Hyola 575 (híbridos), Rivette (variedad de polinización abierta). B = bajo. M = medio. A = alto.

3.2.2 Prueba de germinación estándar

La germinación se realizó bajo normas ISTA (2016), se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones de 50 semillas por lote de semillas. Las semillas fueron colocadas a germinar en cajas de Petri de 9 cm de diámetro, sobre dos hojas de papel de filtro embebidas con 3,6 ml de agua destilada. Las cajas fueron colocadas en una cámara de germinación (de marca Hoffman, modelo SG 30), a una temperatura de 20 ± 2 °C, 90 % de humedad relativa y fotoperíodo de 8/16 horas de luz/oscuridad. Se evaluó el número de plantas normales al quinto día del inicio del ensayo y plantas normales, anormales y semillas muertas al final del período de germinación.

3.2.3 Pruebas de vigor

Se evaluaron diferentes pruebas de vigor establecidas por Hampton y TeKroni (1995).

3.2.3.1 Prueba de emergencia de radícula

Este análisis se realizó juntamente con la germinación estándar. A las 30 horas \pm 15 minutos del inicio de la prueba se contabilizó el número de semillas con emergencia de radícula (ISTA, 2016).

3.2.3.2 Prueba de frío 1

Cuatro repeticiones de 50 semillas por lote fueron acondicionadas en cajas de Petri de 9 cm de diámetro, sobre tres hojas de papel de filtro Whatman No. 1 con 3,6 ml de agua destilada y colocadas en una cámara de frío (Marca Whirlpool, modelo XRM39X1) a 7 °C durante 7 días. Después de este pre-tratamiento de frío, las cajas de Petri fueron trasladadas a una cámara de germinación a temperatura constante de 20 °C y fotoperíodo de 8/16 horas de luz/oscuridad, durante 5 días, momento en el cual se evaluó el número de plantas normales, anormales y muertas.

3.2.3.3 Prueba de frío 2

Para cada lote de semillas, cuatro repeticiones de 50 semillas fueron colocadas a germinar en placas de Petri de 9 cm de diámetro con arena (322 g) y 57 ml de agua destilada (capacidad de campo), a 7 °C durante 10 días. Posteriormente, se contabilizó el número de semillas con emergencia de radícula a los 5 días y la germinación final a los 10 días del inicio de la prueba (Figura 1).

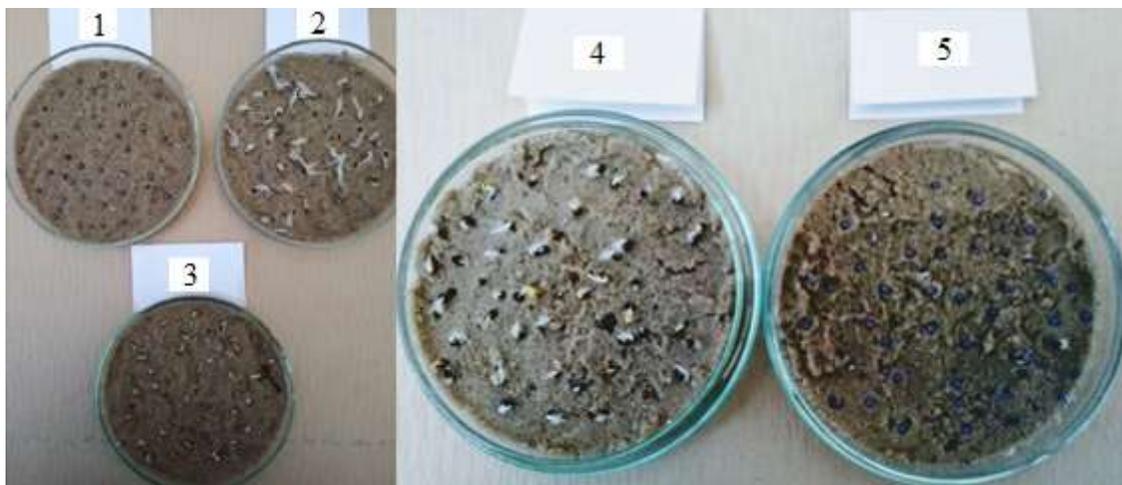


Figura 1. Emergencia de radícula de los lotes de semilla (1 al 5) al quinto día del inicio de la prueba

3.2.3.4 Prueba topográfica por tetrazolio

Se evaluaron cuatro repeticiones de 50 semillas para cada lote de semillas. El método consta de tres etapas, imbibición, exposición de los tejidos a la tinción (no siempre es necesaria) y evaluación (ISTA, 2016).

a) Imbibición

Las semillas fueron sumergidas en agua destilada, para evitar que floten se acondicionaron entre dos papeles de germinación. Luego permanecieron en una cámara de germinación a 20 °C durante 20 horas.

b) Tinción

Luego de las 20 horas de imbibición, los papeles con las semillas fueron retirados del agua. Se procedió a la apertura de los papeles y las semillas fueron colocadas en recipientes de vidrio, con una solución de tetrazolio al 1 % de concentración, estos recipientes fueron llevados a cámara a 35 °C durante 3 horas (Figura 2). Transcurrido este tiempo se escurrió la solución de tetrazolio, se hizo un lavado suave de las semillas con agua bajo el grifo para eliminar restos de la solución de tetrazolio y las semillas permanecieron en agua hasta completar la evaluación.



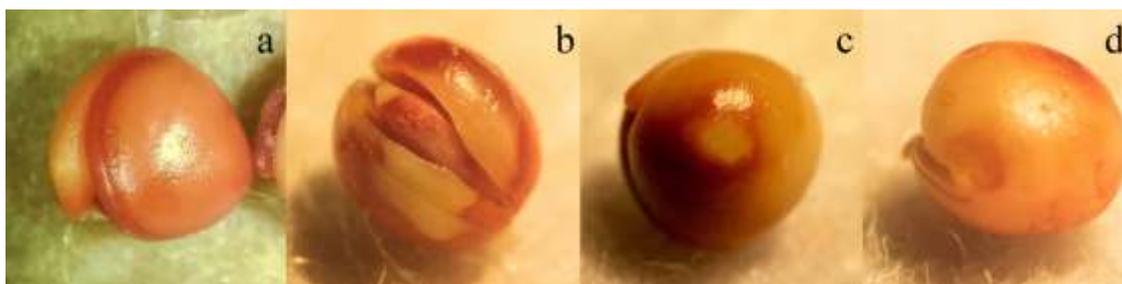
Figura 2. Semillas en recipientes de vidrio, con solución de tetrazolio al 1 %

c) Evaluación

La evaluación de las semillas se realizó con la utilización de lupa binocular (marca Olympus, modelo SZ40), con aumento de 10x. Para tener una clara apreciación de los cotiledones, hipocótilo y radícula fue necesario retirar la cubierta de cobertura de la semilla utilizando pinza y bisturí.

Las semillas se clasificaron en dos categorías (semillas de alto vigor y semillas con otras tinciones) según su color y patrón de tinción. Las semillas coloreadas de rosado claro uniforme, sin presencia de daños, fueron clasificadas como de “alto vigor” (Figura 3a). Las otras tinciones estuvieron constituidas por semillas de menor vigor (Figura 3b y 3c) y semillas no viables (Figura 3d), su coloración fue rosado a rojo intenso y blanco.

Con respecto a los daños, las semillas con manchas blancas, de contorno irregular y de color rojo intenso, se clasificaron como semillas con “daño ambiental” (Figura 3b) y semillas que presentaban una mancha blanca, de forma circular y con bordes de color rojo se clasificaban como semillas con “daño por insecto” (Figura 3c). Como guía para la evaluación se tomó la evaluación de vigor de semillas para *Glycine max* (Gallo et al., 2016).



a = semilla de alto vigor, b = semilla con daño ambiental, c = semilla con daño por insecto, d = semilla no viable.

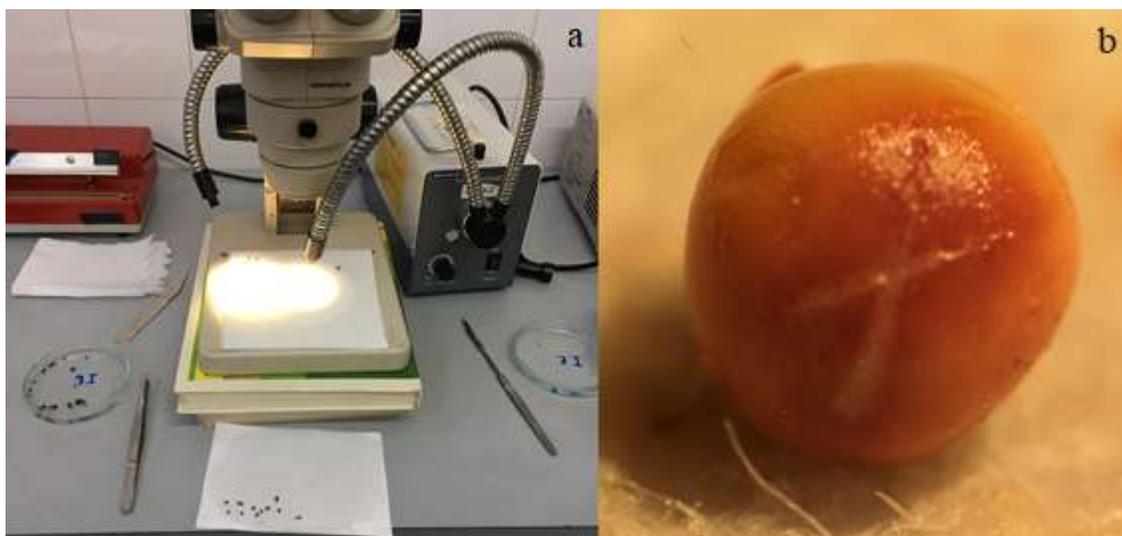
Figura 3. Color y patrón de tinción de semillas de canola luego de ser sometidas a la prueba topográfica por tetrazolio

Los lotes de semillas 1, 4 y 5, al ser colocados en solución de tetrazolio, no se tiñeron, esto pudo ser debido a la impermeabilidad de sus cubiertas. En primera instancia se optó por dejar estos lotes más horas en la solución de tetrazolio, pero el resultado fue el mismo.

Para levantar esta restricción luego de que las semillas se encontraban embebidas y escurridas se realizó un corte en la cubierta de la semilla. Dicho procedimiento está indicado por las reglas ISTA para permitir el ingreso de la solución de tetrazolio, mejorar la tinción y facilitar la evaluación. Esto es lo que se conoce como la etapa de exposición de los tejidos a la tinción. El corte se realizó con ayuda de un bisturí, lupa binocular y pinzas para sujetar las semillas en el momento del corte (Figura 4a). El lugar del corte fue

en uno de los cotiledones en forma de cruz, para evitar la confusión con un daño mecánico (Figura 4b).

Cuando todas las semillas de cada repetición se encontraban con sus respectivos cortes se realizó la tinción y evaluación del vigor.



a = materiales utilizados para realizar el corte, b = vista del corte en cruz sobre cotiledón de la semilla luego de retirar la cubierta.

Figura 4. Materiales utilizados para realizar el corte y corte sobre una semilla de canola

3.3 EXPERIMENTOS DE CAMPO

3.3.1 Diseño experimental

Los lotes de semillas fueron sembrados en el campo experimental de INIA, La Estanzuela. En dos fechas, la primera en mayo, considerada óptima para la especie (15/05/2019), y la segunda en junio, tardía (27/06/2019), con un diseño de parcelas (unidad experimental) en bloques completos al azar (DBCA), con seis repeticiones.

La aleatorización de los lotes de semillas en cada bloque se realizó con el procedimiento PLAN del software informático SAS.

El tamaño de cada unidad experimental fue de 5,28 m², con 6 surcos a una distancia de 0,16 m entre surco y 5,5 m de largo. También se sembraron parcelas con iguales dimensiones al comienzo y final de cada bloque, para que los lotes de semillas estuvieran en competencia perfecta y eliminar así distorsiones del “efecto borde”.

3.3.2 Manejo agronómico

El cultivo antecesor a la siembra de los experimentos fue avena, por lo tanto, la cantidad de rastrojo en superficie presente al momento del laboreo fue reducida.

Previo a la siembra se realizaron los siguientes laboreos de suelo: dos pasadas de excéntrica (13/02/2019), disquera (06/03/2019), reciprocante para reducir el tamaño de los terrones (28/03/2019) y, finalmente, dos pasadas de vibrocultivador, una el día 03/05/2019 y la otra el día antes a la siembra para obtener una cama de siembra uniforme.

Los experimentos se realizaron sobre un suelo Brunosol Subéutrico Típico, perteneciente al grupo CONEAT 10.6, el cual presenta un índice de productividad de 206 (INIA. GRAS, 2020).

Para determinar la necesidad de fertilización se realizaron análisis de suelo en tres momentos: a) en forma anticipada a la siembra, b) al momento de la siembra y c) en estado de roseta del cultivo (estadio C1 según escala CETIOM, Figura 1 de anexos).

a) El día 6 de marzo se tomaron muestras de suelo para determinar la necesidad de una fertilización basal (Cuadro 2). Para este análisis, se dividió el campo experimental en tres zonas: alto, medio y bajo. La zona “alto” corresponde al lugar donde se estableció la primera fecha de siembra y la zona “bajo” al sitio donde se instaló el experimento correspondiente a la segunda fecha de siembra.

Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo antes de la siembra (06/03/2019) de los experimentos en las zonas “alto” y “bajo” correspondientes a las fechas de siembra de mayo y junio, respectivamente

Zona	pH (H ₂ O)	C. Org. %	N-NO ₃ µg N/g	Bray I µg P/g	K Meq/100g	S-SO ₄ µg S/g	PMN mg/Kg N-NH ₄
Alto	5,5	2,25	17,7	28,5	0,92	5,9	19
Bajo	5,3	2,72	20,1	20,4	1,22	3,1	22

pH = pH al agua. C. Org. = carbono orgánico. N-NO₃ = nitrato. Bray I = fósforo. K = potasio. S-SO₄ = sulfato. PMN = potencial de mineralización del suelo.

b) Las muestras fueron recolectadas el 16 de mayo para la zona “alto” y el 9 de julio para la zona “bajo”. En el Cuadro 3 se presentan los resultados de ambos análisis. En base a estos resultados, se fertilizó según niveles críticos del Instituto Internacional para la Nutrición de Plantas (IPNI, por sus siglas en inglés, ver Cuadro 5).

Cuadro 3. Resultados del análisis de suelo al momento de la siembra de los experimentos en las zonas “alto” y “bajo” correspondiente a las fechas de siembra de mayo y junio, respectivamente

Zona	pH (H ₂ O)	N-NO ₃ µg N/g	Bray I µg P/g	K Meq/100g	S-SO ₄ µg S/g
Alto	5,3	30,2	36,1	1,22	7,7
Bajo	5,3	17,9	24,2	1,21	4,3

pH = pH al agua. N-NO₃ = nitrato. Bray I = fósforo. K = potasio. S-SO₄ = sulfato.

c) Con el cultivo en estado de roseta, solo se realizó análisis químico del suelo para la primera fecha de siembra (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis de suelo correspondiente a la primera fecha de siembra, cultivo en estado de roseta

pH (H ₂ O)	N-NO₃ μg N/g	Bray I μg P/g	K Meq/100g	S-SO₄ μg S/g
5,5	19,1	62,5	1,16	6,7

pH = pH al agua, N-NO₃ = nitrato, Bray I = fósforo, K = potasio, S-SO₄ = sulfato.

La siembra se realizó con sembradora experimental (marca F. Walter & H. Wintersteiger KG, modelo PLOTMAN). La densidad de siembra se ajustó según germinación, pureza y peso de mil semillas de los lotes, para obtener 90 semillas viables por m².

También se realizó análisis de nitrógeno en planta para ambas fechas de siembra cuando el cultivo se encontraba próximo a elongación de tallo. El resultado fue de 4,3 % para la primera fecha de siembra y de 5,5 % para la segunda fecha de siembra.

En base a estos resultados, que se consideran de suficiencia para el trigo, se realizó una baja fertilización nitrogenada y se agregó azufre (Cuadro 5), considerando que la colza tiene requerimientos mayores de estos nutrientes que el trigo (IPNI, 2016).

Las malezas, en la fecha de siembra de mayo, fueron controladas mediante carpida al inicio de elongación (estadio C2 según escala CETIOM) y en la fecha de siembra de junio se realizó aplicación de herbicida pre emergente.

Se realizó la aplicación foliar de fungicidas para prevenir enfermedades causadas por hongos en ambas fechas de siembra. Para controlar insectos plaga, en las dos fechas de siembra, se aplicó insecticida al suelo luego de la siembra y en el cultivo (estadios según escala CETIOM: B1 para la primera fecha de siembra y D1 para la segunda fecha de siembra). El daño de aves plaga se controló mediante la colocación de tejido sobre y rodeando los experimentos desde floración hasta su cosecha.

El manejo agronómico se detalla cronológicamente en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Manejo agronómico de los experimentos a campo

Siembra	15/5	27/6
Emergencia	22/5	10/7
Fertilización inicial	28/5 53 kg/ha de sulfato doble de potasio y magnesio (0-0/0-21,5/20 + 10,5Mg + 21S) + 80 kg/ha de urea azufrada (46-0/0-0 + 5S) + 15 kg/ha de fosfato diamónico (18-46/46-0)	31/7 25 kg/ha urea azufrada (40-0/0-0 + 5S) + 40 kg/ha sulfato doble de potasio y magnesio (0-0/0-21,5/20 + 10,5Mg + 21S)
Herbicida a la siembra		28/6 + 2 l/ha sulfato de amonio + 3 l/ha glufosinato de amonio
Insecticida al suelo	18/5 3 l/ha diazin	28/6 3 l/ha diazin
Insecticida a la planta	28/5 280 cc/ha engeo + 1 l/ha clorpiritec	16/9 0,150 cc/ha alsystin + 0.500 cc/ha rizospray
Carpida de malezas	16/7	
Fertilización en floración	22/8 25 kg/ha urea azufrada (40-0/0-0 + 5S)	20/9 25 kg/ha urea azufrada (40-0/0-0 + 5S)
Fungicida aplicación 1	21/8 1,2 l/ha swing plus solo lote 1	28/9 1,2 l/ha swing plus todo el ensayo
Fungicida aplicación 2	22/8 1,2 l/ha swing plus resto de lotes	
Cosecha	15/11	30/11

3.3.3 Determinaciones pre-cosecha

Cada parcela (unidad experimental) fue subdividida en las regiones “frente” y “fondo”, en las cuales se efectuaron las determinaciones para lograr un muestreo más representativo.

Con respecto a la densidad de plantas, las evaluaciones comenzaron a los 7 días post-emergencia equivalentes a 13 días-post siembra y 20 días post-siembra para las fechas de siembra de mayo y junio, respectivamente. En ambas fechas de siembra las

evaluaciones se realizaron hasta los 57 días post-emergencia. Para cada fecha de siembra se realizó un total de 7 evaluaciones con un intervalo de una semana aproximadamente.

Las determinaciones de cobertura de la canopia y del índice verde normalizado se hicieron en el mismo momento que se realizaron los conteos de plántulas para la fecha de siembra de junio. En la fecha de siembra de mayo, las primeras tomas de datos de estas variables se realizaron a los 14 días post-emergencia. También para esta fecha de siembra no se pudo obtener registro del índice verde normalizado a los 21 días post-emergencia.

3.3.3.1 Densidad de plantas

Las plantas se contaron sobre cuatro segmentos de 1,5 m lineales cada uno, ubicados en los cuatro surcos centrales de la parcela, dos de los segmentos se ubicaron en la región frente y dos en la región fondo. Se descartaron los surcos contiguos a las parcelas laterales para eliminar el “efecto borde”.

También se realizó un conteo de los tallos que quedaron luego de la cosecha; para estimar el número de plantas que llegaron a la madurez.

3.3.3.2 Cobertura de la canopia

La cobertura de la canopia se obtuvo mediante la aplicación “Canopeo”, desde un teléfono celular (marca Apple, modelo iPhone SE).

En el momento de la medición se tomó una foto con el teléfono en forma horizontal y a una altura de 1,1 m sobre el área de interés, de esta forma se obtuvo el porcentaje de cobertura vegetal en dicha área. La aplicación permitió ajustar la sensibilidad de la imagen, el valor que se utilizó durante la toma de todos los datos fue de 1,00 (Figura 5).

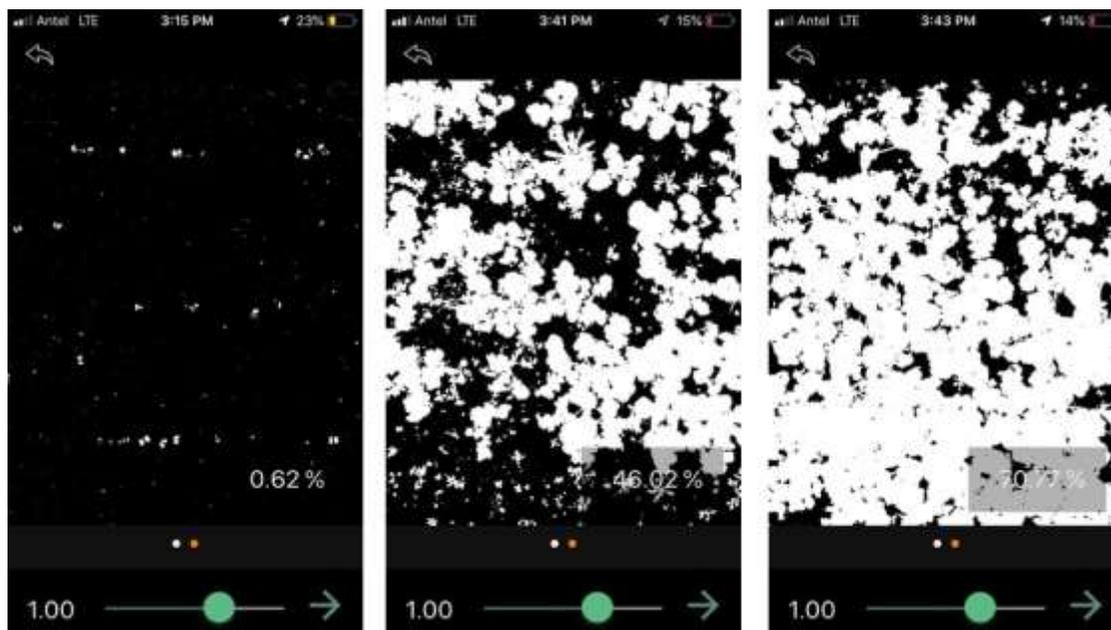


Figura 5. Diferentes resultados de cobertura obtenidos en la aplicación

3.3.3.3 Índice verde normalizado (NDVI)

Esta variable fue medida con el sensor de cultivos portátil GreenSeeker (marca Trimble, modelo Handheld crop sensor). Es un tipo de sensor óptico con fuente de luz activa, que se utiliza para estimar la biomasa y condición de las plantas, el cual aporta la lectura de NDVI de la muestra (Diferencia Normalizada del Índice Vegetativo). Permite estimar la proporción de luz absorbida por las plantas para realizar la fotosíntesis, las plantas verdes absorben la mayor parte de la luz roja y reflejan la mayor parte de la luz infrarroja.

Se tomaron tres medidas en cada parcela, en la región frente, en la región fondo y en el total de la parcela. Todas las medidas se realizaron a una altura de 1,1 m. En las regiones frente y fondo se realizó un movimiento circular con el sensor sobre la región para así abarcar la totalidad del área. Para obtener la lectura de la parcela se caminó paralelo a la parcela con el sensor sobre el centro de esta.

3.3.4 Determinaciones post-cosecha

3.3.4.1 Biomasa sobre altura de corte

La cosecha se realizó el 15 de noviembre para la fecha de siembra de mayo y el 30 de noviembre para la fecha de siembra de junio. Fue realizada de forma manual con la utilización de una hoz como instrumento de corte, la altura de corte desde el suelo fue de 40 cm aproximadamente.

El material fue almacenado en bolsas de arpillera, una bolsa por parcela y llevado a secadora de aire forzado a una temperatura de 40 ± 2 °C durante tres a cuatro días para disminuir la humedad de las plantas. Con el material seco se procedió a determinar la biomasa sobre la altura de corte. Para esto, cada bolsa con su respectivo contenido fue pesada en balanza electrónica (marca Toledo, modelo 2098/59), la cual previamente se taró con el peso de una bolsa vacía.

3.3.4.2 Rendimiento

Para determinar rendimiento de grano se realizó la trilla en forma estacionaria del material seco de cada parcela, para ello se utilizó una cosechadora experimental autopropulsada (marca Wintersteiger), seguida por una limpieza del grano obtenido mediante zarandas. El peso de grano de cada parcela se obtuvo con una balanza electrónica (marca Ohaus, modelo Navigator XT).

3.3.4.3 Peso de mil granos

Se analizaron todas las parcelas de 4 bloques para cada fecha de siembra. De cada parcela se tomaron 4 submuestras de 50 granos cada una.

Los granos fueron contados manualmente con la ayuda de una espátula, almacenados en recipientes de vidrio y pesados en balanza electrónica (marca Precisa, modelo 40SM-200A), previamente tarada con el peso del recipiente de vidrio. En base a los datos obtenidos en las pesadas, se calculó el peso de mil granos de cada parcela.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las medias del peso de mil semillas, germinación y las pruebas de vigor fueron clasificadas según mínima diferencia significativa (test MDS de Fisher, $\alpha = 0,05$). Se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman entre las diferentes pruebas de vigor y el peso de mil semillas con la germinación y con la prueba de emergencia de radícula. Las variables de campo se estudiaron mediante modelos lineales generales y mixtos (características de los modelos, Cuadro 1 de anexos), con posterior análisis de varianza y test de comparación de media (Test MDS de Fisher, $\alpha = 0,05$). Se realizó análisis de regresión lineal entre las variables de laboratorio y de campo para obtener el coeficiente de determinación (R^2). Por último, se estudió la correlación entre las variables de campo, mediante la correlación de Pearson o Spearman dependiendo de la normalidad de cada variable. Los resultados fueron analizados en el software estadístico InfoStat.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primera instancia, se presentan los resultados de peso de mil semillas, germinación y vigor de los lotes de semillas en condiciones de laboratorio (4.1).

En segundo término, la información obtenida de los parámetros climáticos (temperatura media, precipitaciones acumuladas y heladas agrometeorológicas) correspondiente al año 2019, en el cual se situó el período de evaluación, y a la serie histórica 1965-2018 (4.2.1). Seguidamente se presentan los resultados correspondientes a la densidad de plantas en dos momentos de evaluación (7 y 14 días post-emergencia) y para todo el período de toma de datos (4.2.2). Posteriormente se presenta la información referente a la cobertura de la canopia (4.2.3) e índice verde normalizado (4.2.4) a los 14 días post-emergencia y para el período comprendido entre los 14 días post-emergencia y el estadio C2 según la escala CETIOM.

En tercer lugar, se presentan los resultados de los análisis de regresión entre las variables de laboratorio y campo (4.3).

Finalmente, se exponen los resultados de la correlación entre las variables de campo; densidad de plantas a los 7 y 14 días post-emergencia, cobertura de la canopia e índice verde normalizado a los 14 días post-emergencia con biomasa sobre altura de corte, rendimiento, peso de mil granos e índice de cosecha (4.4).

4.1 EXPERIMENTOS DE LABORATORIO

La germinación de los lotes de semillas fue mayor a 85 %, valor propuesto por Hertel y Edwards (2011) para asegurar una instalación del cultivo rápida y uniforme, excepto para el lote 5, el cual presentó un valor de 75 %. El peso de mil semillas fue mayor en los híbridos (lotes 1, 2 y 3) que en las variedades de polinización abierta (lotes 4 y 5), en coincidencia con lo reportado por Brill et al. (2015, Cuadro 6).

La prueba de emergencia de radícula fue el método más sensible para detectar diferencias de vigor entre lotes de germinación similar (lotes 1, 2 y 4). Esto demuestra que lotes con igual germinación pueden tener diferente vigor (Manfrini 2004, Gallo et al. 2017).

La prueba de frío 1 no diferenció los lotes 2 y 3, con valores de germinación y vigor diferentes, según la prueba de emergencia de radícula. La prueba de frío 2 presentó un comportamiento intermedio entre la prueba de emergencia de radícula y la prueba de frío 1. Si bien no diferenció lotes de excelente germinación (lotes 2 y 4), estableció diferencias de vigor entre los lotes 2 y 3.

En general, las dos pruebas de frío clasificaron los lotes de semillas en distintas categorías según mínima diferencia significativa, lo que coincide con Elias y Copeland (1997) quienes reportaron diferencias entre lotes de semillas de canola de diferente calidad luego de someterlos a una prueba de frío. Otro aspecto que las pruebas comparten es que

entre los lotes 2 y 4, con una germinación de 96 % y distinto vigor según la prueba de emergencia de radícula, no se reportaron diferencias significativas, lo que coincide con Leeks (2006) quien no reportó diferencias en los resultados obtenidos de la prueba de frío aplicada a lotes de semilla de canola con distinto vigor y valores de germinación mayores al 90 %.

Por último, la prueba topográfica por tetrazolio sobrestimó el vigor de todos los lotes de bajo y medio vigor (lotes 1, 3 y 5), y no permitió establecer diferencias significativas entre ellos y con los lotes de mayor vigor (lotes 2 y 4); estos resultados fueron diferentes a los obtenidos por Faber et al. (2015), quienes detectaron diferencias significativas de viabilidad entre lotes de semillas.

Cuadro 6. Peso de mil semillas (PMS), germinación (G) y de vigor evaluado por la prueba de emergencia de radícula (ER), prueba de frío 1 (PF1), prueba de frío 2 (PF2) y prueba topográfica por tetrazolio (TZ) de semillas de cinco lotes de semillas de colza

Lote de semilla	Cultivar	PMS*	G	ER	PF1	PF2	TZ
		G	%				
1	Hyola 433	6,1 a	89 ab	1 e	73 b	2 d	77 a
2	Hyola 575	5,6 b	96 a	92 a	86 a	85 a	75 a
3	Hyola 575	5,6 b	87 b	63 c	87 a	71 b	75 a
4	Rivette	4,3 c	96 a	84 b	79 ab	76 ab	81 a
5	Rivette	4,1 c	75 c	22 d	45 c	26 c	76 a

Medias con distintas letras en la columna son significativamente diferentes (LSD Fisher $p < 0,05$; *, Test de Tukey $p < 0,05$).

La germinación y el peso de mil semillas no presentaron correlación significativa ($p=0,8478$, ver Cuadro 7), esto no coincide con lo reportado por Marañón y Grubb (1993), en cuanto a que las semillas pequeñas presentaron mayor germinación que las semillas grandes en un tiempo dado.

De acuerdo con los resultados presentados en el Cuadro 6 se evidencia que la germinación no solo depende del tamaño de la semilla, lo cual concuerda con lo reportado por Hertel y Edwards (2011), quienes mencionaron que la germinación depende de distintos factores como el tamaño de la semilla, el manejo del cultivo, el momento de cosecha, procesamiento y almacenamiento de la semilla.

Las diferentes pruebas de vigor no presentaron correlación significativa con la germinación ($p > 0,05$), a excepción de la prueba de emergencia de radícula ($p = 0,0069$), cuya correlación fue positiva y moderada ($r = 0,58$, ver Cuadro 7).

Lo anterior se refleja en los lotes que presentaron mayor emergencia de radícula y mayor porcentaje de germinación (lotes 2 y 4). Los bajos valores de emergencia de radícula, de acuerdo con Amirmoradi y Feizi (2017), Gallo et al. (2017), pueden ser debido al deterioro que los lotes de semilla han experimentado luego de la madurez fisiológica

cuando las semillas permanecen en la planta, durante la cosecha, el acondicionamiento y el almacenamiento. Este deterioro causa daños a nivel celular en la semilla, los cuales se deben reparar antes de que comience la germinación (Gallo et al., 2017). Debido a esto, la emergencia de radícula en un tiempo dado puede ser menor.

Esta correlación entre la prueba de emergencia de radícula y la germinación coincide con lo reportado por Amirmoradi y Feizi (2017), quienes mencionaron que un conteo temprano de semillas germinadas puede utilizarse como un indicador de viabilidad del lote. También coincide con lo reportado por Ozden et al. (2018), quienes obtuvieron una alta relación entre las pruebas y reportaron que la prueba de emergencia radicular presentó buen potencial para predecir el número de plántulas normales en condiciones de laboratorio.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación (r) de Spearman entre el peso de mil semillas (PMS), la prueba de emergencia de radícula (ER), la prueba de frío 1 (PF1), prueba de frío 2 (PF2) y la prueba topográfica por tetrazolio (TZ) con la germinación para semillas de cinco lotes de canola

	PMS	ER	PF1	PF2	TZ
Germinación	-0,05 ns	0,58 **	0,35 ns	0,44 ns	0,22 ns

** = $p < 0,01$. ns = no significativo.

La correlación de la prueba de frío 1 con la prueba de emergencia de radícula fue positiva y moderada ($r = 0,54$; $p = 0,0132$). Para la prueba de frío 2, la correlación fue positiva y alta ($r = 0,88$; $p < 0,0001$, ver Cuadro 8). Este último valor podría deberse a la similitud en el procedimiento de ambos métodos, ya que en la prueba de frío 2 se evaluó la emergencia de la radícula luego de exponer a las semillas a un estrés por baja temperatura y humedad durante 5 días.

Consecuentemente, la prueba de frío 2 es un método confiable para estimar vigor en los lotes de semillas. Además, cuenta con una exigencia adicional con relación a la prueba de emergencia de radícula y es que las semillas se exponen a condiciones estresantes para luego expresar su potencial fisiológico (Craviotto y Arango, 2009).

La prueba topográfica por tetrazolio no mostró correlación significativa con la prueba de emergencia de radícula ($p = 0,96$, ver Cuadro 8). Uno de los factores que puede haber incidido en los resultados es que la interpretación visual de la tinción en la prueba de tetrazolio es subjetiva y requiere experiencia, especialmente en semillas pequeñas (Howarth y Stanwood, 1993).

Otro aspecto a tener en cuenta que puede haber incidido en los resultados de la prueba por tetrazolio es que se utilizó una concentración del 1 %, superior a la concentración de 0,3 % propuesta por Nery et al. (2015) para evaluar la viabilidad y calidad de semillas de rábano (*Raphanus sativus* L., Brassicaceae). Según estos autores, una concentración mayor a 0,3 % tiñe las semillas de color rojo intenso y dificulta su evaluación.

El peso de mil semillas tampoco demostró correlación significativa con la prueba de emergencia de radícula ($p = 0,077$, ver Cuadro 8). Esto coincide con lo reportado por Komba et al. (2007) quienes detectaron que el vigor en semillas de *Brassica oleracea* L. no se relacionó con el tamaño de estas, por lo cual las semillas grandes no fueron las de mayor vigor ni las pequeñas las de menor vigor. También coincide con lo reportado por Pérez y Pita (2001) quienes mencionaron que el vigor de la semilla depende de varios factores, uno de ellos es el peso.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación (r) de Spearman entre el peso de mil semillas (PMS), la prueba de frío 1 (PF1), prueba de frío 2 (PF2) y la prueba topográfica por tetrazolio (TZ) con la prueba de emergencia de radícula (ER) para semillas de cinco lotes de canola

	PMS	PF1	PF2	TZ
Emergencia de radícula (ER)	-0,4 ns	0,54 *	0,88 **	0,01 ns

** = $p < 0,01$. * = $p < 0,05$. ns = no significativo.

4.2 EXPERIMENTOS DE CAMPO

4.2.1 Caracterización climática

En el año 2019 las precipitaciones acumuladas en INIA, La Estanzuela, fueron levemente menores al promedio histórico, 1095 mm y 1141 mm, respectivamente, y distribuidas de forma heterogénea.

Se registraron 20 décadas con precipitaciones por debajo del promedio histórico, 10 de las cuales presentaron un volumen de precipitaciones inferiores o iguales a 5 mm. Con excepción del mes de octubre, las precipitaciones desde julio a diciembre estuvieron por debajo del promedio histórico mensual. También ocurrieron períodos con abundantes precipitaciones que superaron el promedio histórico como la segunda década de junio (128 mm vs. 24 mm), la tercera década de julio (58 mm vs. 24 mm) y la segunda década de octubre (115 mm vs. 31 mm, ver Figura 6).

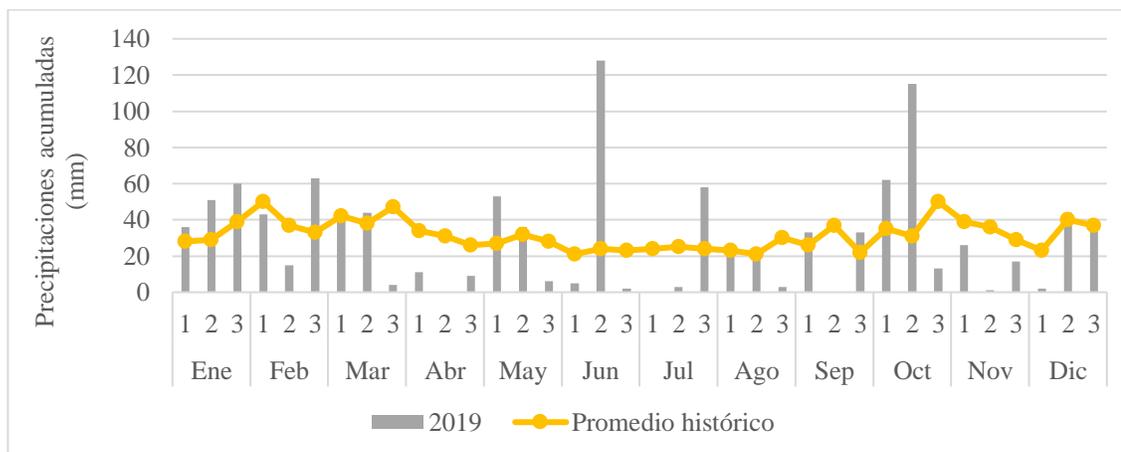


Figura 6. Precipitaciones acumuladas (mm) decádicas promedio históricas (serie 1965-2018) y para el período enero a diciembre 2019 en INIA, La Estanzuela

Fuente: INIA. GRAS (2020).

En cuanto a las temperaturas medias del año 2019, en general, no presentaron diferencias significativas en relación con el promedio histórico. Valores superiores al promedio histórico a destacar son los registrados en la segunda década de junio (14,8 °C vs. 10,6 °C) y en la segunda década de noviembre (22,6 °C vs. 18,7 °C). Valores inferiores al promedio histórico a destacar son los registrados en la primera década de julio (7,5 °C vs. 10,2 °C), en la segunda década de agosto (8,3 °C vs. 11,8 °C) y en la primera década de septiembre (9,3 °C vs. 12,7 °C, ver Figura 7).

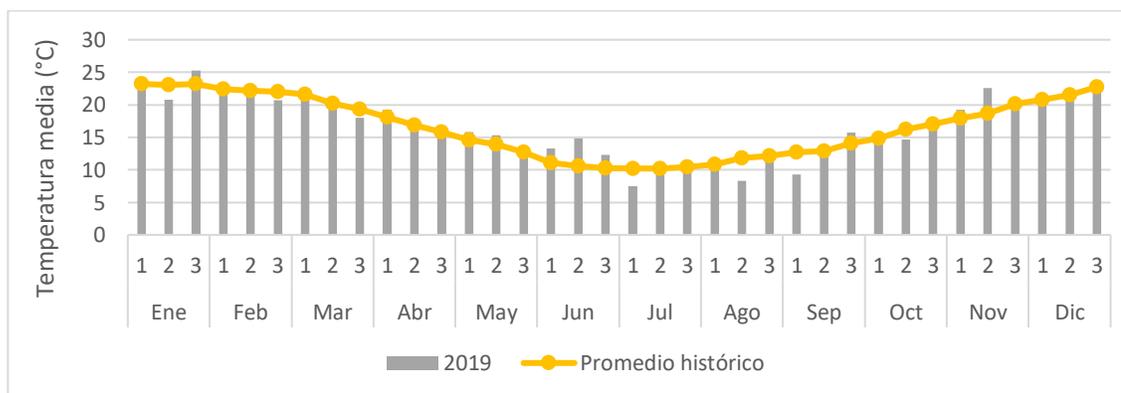


Figura 7. Temperatura media (°C) decádica promedio históricas (serie 1965-2018) y para el período enero a diciembre 2019 en INIA La Estanzuela

Fuente: INIA. GRAS (2020).

El año 2019 presentó menor número de días con heladas agrometeorológicas que el promedio histórico, 24 y 30, respectivamente. Además, el período con heladas fue más breve (junio a septiembre) con respecto al promedio histórico (abril a octubre). La primera

década de julio y de septiembre fueron los momentos con mayor número de heladas con respecto al promedio histórico (Figura 8).

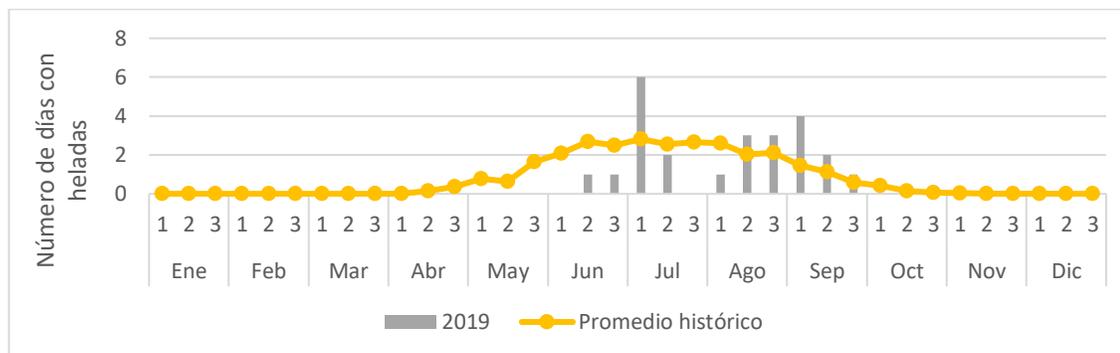


Figura 8. Número de días con heladas agrometeorológicas decádicas promedio históricas (serie 1965-2018) y para el período enero a diciembre 2019 en INIA La Estanzuela

Fuente: INIA. GRAS (2020).

4.2.2 Densidad de plantas

La densidad de plantas a los 7 días post-emergencia dependió de la fecha de siembra ($p < 0,0001$), y no hubo diferencias significativas entre lotes de semillas ($p = 0,099$) ni interacción significativa entre los lotes de semilla y las fechas de siembra ($p = 0,969$). La densidad de plantas promedio fue mayor en la fecha de siembra de mayo (78 plantas/m^2) que en la de junio (55 plantas/m^2 , ver Cuadro 9).

Esto se debió a que en la fecha de siembra de mayo las condiciones climáticas (precipitaciones, temperaturas medias y heladas) a las que estuvieron expuestas las semillas al momento de germinar y emerger fueron más favorables que en la fecha de siembra de junio.

En mayo, el período desde la siembra a la emergencia fue de 7 días (15 al 22 de mayo) y transcurrió con buena humedad en el suelo, debido a las precipitaciones registradas en los primeros 20 días de mayo. Sin embargo, en junio, dicho período fue de 13 días (27 de junio al 10 de julio) debido a que no ocurrieron precipitaciones. Estos resultados demuestran la sensibilidad de las semillas de canola a la falta de humedad en el suelo al momento de la siembra descrita por Martino y Ponce de León (1999).

Las temperaturas medias fueron más favorables para la fecha de siembra de mayo que para la de junio. Durante la segunda década de mayo la temperatura media ($15,3 \text{ }^\circ\text{C}$) fue muy próxima a los rangos óptimos, para germinación y emergencia, de $16 \text{ }^\circ\text{C}$ a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ y $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ propuestos por Latifi et al. (2004), Hertel y Edwards (2011), respectivamente. En cambio, durante los primeros 10 días del mes de julio la temperatura media ($7,5 \text{ }^\circ\text{C}$) se posicionó por debajo del rango óptimo. Esto repercutió en el desarrollo inicial de las plántulas; lo cual coincide con Latifi et al. (2004), Hertel y Edwards (2011)

en cuanto a las condiciones óptimas de temperatura para que ocurra un correcto establecimiento del cultivo.

Sumado a lo anterior, a fines del mes de mayo y principios del mes de junio no hubo heladas, mientras que en los primeros 10 días de julio se registraron 6 días con heladas. Este es otro de los factores que provocó una menor densidad de plantas en la fecha de siembra de junio con respecto a la de mayo. Estos resultados coinciden con Martino y Ponce de León (1999), Hertel y Edwards (2011), Dhawan, citado por Canola Council of Canada (2020), quienes mencionaron que, durante el estado de cotiledón hasta la primera hoja verdadera inclusive, el punto de crecimiento está muy expuesto y las heladas pueden matar la planta.

A los 14 días-post emergencia, los distintos lotes de semillas ($p = 0,0021$) y la fecha de siembra ($p < 0,0001$) tuvieron efectos significativos sobre la densidad de plantas. No se registró interacción significativa entre los lotes de semilla y las fechas de siembra ($p = 0,763$).

El lote de menor calidad (lote 5), variedad de polinización abierta, con menor germinación (75 %), vigor (22 %) y peso de mil semillas (4,1 g), fue el que presentó mayor densidad de plantas (85 plantas/m², ver Cuadro 9).

Estos resultados pueden deberse a que dicho lote de semillas presentó alta variabilidad entre las repeticiones de las distintas pruebas de laboratorio, lo que denotó su heterogeneidad. Esta característica se expresó, sobre todo, en la prueba de germinación, con valores mínimos y máximos de 66 % y 84 %, respectivamente. Debido a la amplitud en el rango de los valores de germinación, el valor medio que se utilizó para el cálculo de la densidad de siembra no reflejó la calidad del lote y posiblemente se sobrestimó la cantidad de semillas necesaria para obtener 90 plantas/m².

Al igual que a los 7 días-post emergencia, los conteos a los 14 días-post emergencia mostraron que la fecha de siembra de mayo presentó una mayor densidad de plantas (81 plantas/m²) que la fecha de siembra de junio (61 plantas/m², ver Cuadro 9). Estos resultados denotan que hubo un leve incremento en la densidad de plantas para las dos fechas de siembra, de 3 y 6 plantas promedio para mayo y junio, respectivamente.

Los resultados del análisis de densidad de plantas para todo el período de evaluación (7 fechas de conteo para cada fecha de siembra) mostraron el mismo comportamiento que a los 14 días post-emergencia. La cantidad de plantas dependió del lote de semillas ($p = 0,0037$) y de la fecha de siembra ($p = 0,0004$); no se registró interacción significativa entre los lotes de semilla y las fechas de siembra ($p = 0,594$).

La fecha de siembra de mayo presentó mayor densidad de plantas promedio (79 plantas/m²) que la fecha de siembra de junio (60 plantas/m², ver Cuadro 9). Estos resultados, al igual que a los 7 y 14 días post-emergencia, ponen en evidencia la importancia de las temperaturas y las precipitaciones, así como la ocurrencia de heladas

en la implantación del cultivo de canola. En este sentido, para la fecha de siembra de mayo se obtuvo 88 % de la densidad de plantas objetivo en relación con el 67 % en la fecha de siembra de junio. También se observó que, el número de plantas/m² a los 7 días fue determinante de la evolución de la densidad de plantas del cultivo para las dos fechas de siembra.

El lote 5 mantuvo una mayor densidad de plantas con respecto al resto de los lotes (Cuadro 9). Esta superioridad del lote 5 en gran parte fue debido a los mismos problemas detallados para los 14 días post-emergencia.

Cuadro 9. Medias de densidad de plantas/m² para cada lote de semillas y para cada fecha de siembra a los 7 y 14 días post-emergencia y para todo el período de evaluación (7 días post-emergencia a elongación)

Tratamiento	Plantas/m ²		
	Momento de evaluación		
Lote de semillas	7 DPE	14 DPE	7 DPE - C2
1	58 a	68 b	66 b
2	67 a	66 b	64 b
3	71 a	73 b	71 b
4	67 a	65 b	64 b
5	70 a	85 a	81 a
Fecha de siembra			
Mayo	78 a	81 a	79 a
Junio	55 b	61 b	60 b

Medias con distintas letras son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) dentro de cada tratamiento principal y momento de evaluación. DPE = días post-emergencia. C2 = estadio C2 según escala CETIOM.

4.2.3 Cobertura de la canopia

La cobertura de la canopia a los 14 días post-emergencia dependió de la fecha de siembra ($p < 0,0001$) y de los lotes de semillas ($p = 0,0245$), no se registró interacción significativa entre dichas variables ($p = 0,1887$).

La fecha de siembra de mayo presentó un valor de cobertura de 3,5 %, más del doble que el valor de 1,7 % de la fecha de siembra de junio (Cuadro 10).

La diferencia entre los valores registrados fue producto de las condiciones climáticas que favorecieron un rápido desarrollo de las plantas en la fecha de siembra de mayo. Esto, junto al mayor número de plantas, según Harker et al. (2015), Torterolo et al. (2021), posibilita una mejor competencia del cultivo con malezas por los recursos disponibles. Este último punto es de gran importancia debido a la escasa variedad de herbicidas que se pueden aplicar en post-emergencia para controlar malezas de hoja ancha en el cultivo de canola.

El lote 2 fue el que presentó mayor cobertura del suelo seguido por el lote 4 (ambos de excelente germinación y vigor por la prueba de emergencia de radícula). El lote 4 no se diferenció del resto de los lotes (5, 3 y 1) de menor germinación y vigor (Cuadro 10).

Dejando de lado el lote 5, queda claro la importancia del vigor de las semillas, ya que el resto de los lotes no se diferenciaron significativamente en cuanto a la densidad de plantas, pero presentaron diferencias significativas de cobertura de la canopia. Estos resultados se deben a que las plantas de los lotes de mayor vigor presentaron mayor desarrollo, como fue mencionado anteriormente, esto es una ventaja importante en la etapa inicial del cultivo, ya que permite la competencia temprana con las malezas por los recursos disponibles.

Para la totalidad del período de evaluación, la cobertura no dependió de los lotes de semillas ($p = 0,9913$), pero sí de la fecha de siembra ($p = 0,0063$). No se registró interacción significativa entre los lotes de semilla y las fechas de siembra ($p = 0,999$).

El efecto del vigor de los lotes sobre la cobertura de la canopia solo se observó a los 14 días post-emergencia. Sin embargo, el efecto de la fecha de siembra en la cobertura se mantuvo durante todo el período de evaluación. En este sentido, la cobertura promedio fue mayor en la fecha de siembra de mayo (38,5 %) con respecto a la fecha de siembra de junio (19,4 %, ver Cuadro 10). Los resultados coinciden con lo reportado por Harker et al. (2015) quienes mencionaron que, cuando la densidad de plantas es mayor, se obtiene mayor porcentaje de cobertura de suelo.

La temperatura media fue más favorable durante todo período de evaluación para la fecha de siembra de mayo (11,9 °C) que para la fecha de siembra de junio (10,5 °C). En el período de evaluación de fecha de siembra de mayo, el mes con mayor temperatura media fue junio (13,5 °C), lo que permitió un rápido y buen desarrollo inicial del cultivo.

Las precipitaciones durante el período de evaluación fueron similares: 144 mm y 125 mm, para las fechas de siembra de mayo y junio, respectivamente, pero fueron diferentes en su distribución. Para la fecha de siembra de mayo, las precipitaciones se concentraron al inicio del cultivo, en la segunda década de junio (128 mm) y para la fecha de siembra de junio las lluvias se distribuyeron en forma más uniforme durante todo el período de evaluación.

Para las dos fechas de siembra durante todo el período de evaluación ocurrieron un total de 10 días con heladas, su distribución temporal influyó en el impacto de estas sobre la cobertura. Para la fecha de siembra de mayo, las heladas se concentraron al final del período de evaluación, cuando el cultivo tenía valores altos de cobertura, mientras que, para la fecha de siembra de junio, la distribución de las heladas fue más uniforme y con mayor frecuencia en los días post-siembra, lo cual enlenteció el desarrollo del cultivo. Esto coincide con lo reportado por Martino y Ponce de León (1999), Hertel y Edwards (2011), Dhawan, citado por Canola Council of Canada (2020), quienes reportaron que al

momento de la emergencia la plántula es más susceptible a las heladas ya que su punto de crecimiento no se encuentra protegido.

Cuadro 10. Medias de cobertura de la canopia (%) para cada lote de semillas y para cada fecha de siembra a los 14 días post-emergencia y para todo el período de evaluación (14 días post-emergencia a elongación)

Tratamiento	Cobertura de la canopia (%)	
	Momento de evaluación	
	14 DPE	14 DPE - C2
Lote de semillas		
1	2,3 b	27,3 a
2	3,0 a	31,6 a
3	2,5 b	28,6 a
4	2,6 ab	28,2 a
5	2,5 b	29,2 a
Fecha de siembra		
Mayo	3,5 a	38,5 a
Junio	1,7 b	19,4 b

Medias con distintas letras son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) dentro de cada tratamiento principal y al momento de evaluación. DPE = días post-emergencia. C2 = estadio C2 (elongación) según escala CETIOM.

4.2.4 Índice verde normalizado (NDVI)

A los 14 días post-emergencia el NDVI dependió de la interacción entre la fecha de siembra y los distintos lotes de semillas ($p = 0,0434$, ver Cuadro 11). En la fecha de siembra de mayo, los lotes 2 y 4 presentaron mayor NDVI que el lote 5 y no se diferenciaron de los lotes 1 y 3. Los lotes 1, 3 y 5 no se diferenciaron significativamente. Algo a destacar es que las diferencias observadas de NDVI fueron de poca magnitud, dentro de un rango de valores muy reducido (0,24 a 0,26).

En la fecha de siembra de junio no se reportaron diferencias significativas en el NDVI entre lotes de semillas. Las mejores condiciones climáticas en la fecha de siembra de mayo permitieron un mayor desarrollo de plántulas de los lotes de mayor vigor (2 y 4) en relación con el lote 5 de menor vigor, el cual pese a tener una alta densidad de plantas no logró un valor alto de NDVI.

Cuadro 11. Medias de valores de índice verde normalizado (NDVI) para cada lote de semillas en cada fecha de siembra a los 14 días post-emergencia

Lote de semillas	Fecha de siembra	
	Mayo	Junio
1	0,25 ab	0,26 a
2	0,26 a	0,26 a
3	0,25 ab	0,26 a
4	0,26 a	0,26 a
5	0,24 b	0,26 a

Medias con distintas letras en cada columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Para la totalidad del período de evaluación (14 días post-emergencia a elongación) el NDVI no dependió del lote de semillas ($p = 0,9928$), pero sí de la fecha de siembra ($p = 0,0237$). No se registró interacción significativa entre los lotes de semilla y las fechas de siembra ($p = 0,9989$).

La fecha de siembra de mayo presentó un mayor NDVI (0,54) que la fecha de siembra de junio (0,45). Estos valores de NDVI guardan relación con los valores de cobertura de la canopia en cada fecha de siembra para todo el período de evaluación.

4.3 RELACIÓN ENTRE VARIABLES DE LABORATORIO Y CAMPO

En el Cuadro 12 se presentan los coeficientes de determinación entre las variables de laboratorio y las variables de campo. Para ello no se consideró el lote de semillas 5, debido a que presentó variabilidad entre las repeticiones en la prueba de germinación, lo que mostró la heterogeneidad del lote y las consecuencias posteriores que esto causó a nivel de campo; descritas en el punto 4.2.2.

Cuadro 12. Coeficientes de determinación (R^2) obtenidos a partir del análisis de regresión lineal entre las pruebas de laboratorio y las variables obtenidas a campo

FDS	Variable	DPE	G	Prueba de vigor				
				ER	P. frío 1	P. frío 2	Tetrazolio	
Mayo	Densidad de plantas	7	0,01	0,09	0,1	0,1	0,01	
		14	0,02	0,00	0,03	0,00	0,06	
	Cobertura	14	0,16	0,21* (+)	0,13	0,18* (+)	0,02	
	NDVI	14	0,14	0,07	0,01	0,05	0,00	
	Biomasa SAC			0,03	0,00	0,01	0,00	0,01
	Rendimiento			0,06	0,09	0,01	0,08	0,09
	Índice de cosecha			0,08	0,02	0,01	0,01	0,06
	Peso de mil granos			0,01	0,09	0,00	0,05	0,00
Junio	Densidad de plantas	7	0,00	0,11	0,15	0,15	0,00	
		14	0,25* (-)	0,05	0,01	0,02	0,07	
	Cobertura	14	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	
	NDVI	14	0,00	0,02	0,06	0,02	0,06	
	Biomasa SAC			0,00	0,09	0,38** (+)	0,12	0,51** (-)
	Rendimiento			0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
	Índice de cosecha			0,01	0,08	0,43** (-)	0,13	0,49** (+)
	Peso de mil granos			0,01	0,13	0,13	0,1	0,02

FDS = fecha de siembra. NDVI = índice verde normalizado. SAC = sobre altura de corte. DPE = días post-emergencia. G = germinación. ER = emergencia de radícula. + = asociación positiva. - = asociación negativa. Significancia: ** = $p < 0,01$. * = $p < 0,05$.

La densidad de plantas a los 7 días post-emergencia, en las dos fechas de siembra, no presentó relación significativa ($p > 0,05$) con la germinación ni con las pruebas de vigor. Lo cual no coincide con lo reportado por Matthews et al. (2012) quienes reportaron una relación significativa ($p < 0,01$) entre la prueba de emergencia de radícula y la emergencia de plántulas a campo a los 7 días post-emergencia ($R^2 = 0,96$). A los 14 días post-emergencia para la fecha de siembra de junio mostró baja relación ($R^2 = 0,25$) negativa y significativa ($p = 0,0136$) con la prueba de germinación. Esta asociación negativa podría reflejar la falta de sensibilidad de la prueba de germinación para predecir la implantación.

Por otra parte, la densidad de plantas a los 14 días post-emergencia para las dos fechas de siembra no presentó asociación significativa con las diferentes pruebas de vigor. Lo cual no coincide con lo reportado por Matthews et al. (2012) quienes reportaron una relación significativa ($p < 0,01$) entre la prueba de emergencia de radícula y la emergencia de plántulas a campo en el momento de máxima emergencia de plántulas ($R^2 = 0,71$), lo cual, en este trabajo, se dio a los 14 días post-emergencia. Tampoco coincide con Elliott et al. (2005) quienes reportaron que los valores de germinación en semillas de canola sometidas a la prueba de frío presentaron alta correlación ($r = 0,68-0,85$) con los valores

de emergencia a campo, ya sea en condiciones de suelo frío o suelo caliente, factor que, entre otras variables, puede depender de la fecha de siembra.

La cobertura no dependió de la germinación, pero presentó asociación baja, positiva y significativa con la prueba de emergencia de radícula ($R^2 = 0,21$ y $p = 0,0255$) y con la prueba de frío 2 ($R^2 = 0,18$ y $p = 0,0369$) a los 14 días post-emergencia en la fecha de siembra de mayo. Para la fecha de siembra de junio la cobertura no presentó relación significativa ($p > 0,05$) ni con la germinación ni con ninguna de las pruebas de vigor.

Debido a los resultados mencionados, dichas pruebas de vigor estimarían la cobertura en situaciones donde el cultivo tenga las condiciones óptimas para tener un rápido desarrollo inicial. Sin embargo, aun cuando estas condiciones ocurran, la predicción no sería confiable debido al bajo valor de R^2 obtenido. Cuando el desarrollo inicial del cultivo ocurrió en condiciones estresantes, como en la fecha de siembra de junio, la capacidad de predicción de la cobertura mediante la prueba de germinación y las de vigor fue nula.

La biomasa sobre la altura de corte no presentó asociación significativa ($p > 0,05$) con ninguna de las pruebas de laboratorio en la fecha de siembra de mayo. En la fecha de siembra de junio presentó asociación ($R^2 = 0,38$) significativa ($p = 0,0013$) y positiva con la prueba de frío 1 y asociación ($R^2 = 0,51$) significativa ($p = 0,0001$) y negativa con la prueba de tetrazolio. La asociación con la prueba de frío 1 coincide con lo reportado por Elliott et al. (2005), quienes observaron una asociación positiva ($r = 0,61-0,94$) entre los resultados obtenidos en la prueba de frío de semillas de canola con la biomasa.

Una de las razones de que la prueba de frío 1 presentó asociación con la variable mencionada en la fecha de siembra de junio, es que la prueba evaluó la germinación de las semillas luego de ser expuestas a bajas temperaturas, condición similar a la que estuvieron expuestas al momento de la siembra y durante el establecimiento del cultivo (Figuras 6, 7 y 8).

La asociación negativa entre la prueba de tetrazolio y la biomasa sobre la altura de corte podía deberse a una sobrestimación del vigor con la prueba de tetrazolio. Esto puede ser debido a distintos factores, como la concentración de la solución de tetrazolio para evaluar el vigor, según Nery et al. (2015), para distinguir con facilidad los daños presentes en las semillas la concentración de tetrazolio no debería ser mayor a 0,3 %, consecuentemente, la concentración debería ser ajustada. La subjetividad que presenta la técnica es otro factor para tener cuenta, ya que depende de un analista que clasifique las semillas según la coloración y presencia de daños, en este sentido, Howarth y Stanwood (1993) mencionaron que la prueba de tetrazolio requiere de una cierta experiencia en semillas pequeñas.

El índice de cosecha no presentó asociación significativa ($p > 0,05$) con la prueba de germinación ni con las pruebas de vigor en la fecha de siembra de mayo. En la fecha de siembra de junio, a diferencia de lo obtenido con la biomasa sobre la altura de corte, el

índice de cosecha presentó asociación ($R^2 = 0,43$) significativa ($p = 0,0005$) y negativa con la prueba de frío 1. También presentó asociación ($R^2 = 0,49$) significativa ($p = 0,0001$) y positiva con la prueba de tetrazolio. Estos resultados se explican porque el índice de cosecha es la relación entre el rendimiento en grano y la biomasa del cultivo, en este caso sobre la altura de corte. Cuando la biomasa del cultivo aumenta, el índice de cosecha disminuye si el rendimiento se mantiene constante.

El índice verde normalizado, el rendimiento y el peso de mil granos no presentaron asociación significativa ($p > 0,05$) ni con la prueba de germinación ni con las pruebas de vigor en ambas fechas de siembra.

En general, el número de asociaciones significativas entre los resultados de las pruebas de laboratorio con las variables de campo fue bajo y en su mayoría ocurrieron en la fecha de siembra de junio. Esto se debió a que las condiciones climáticas para dicha fecha de siembra fueron adversas para el desarrollo del cultivo, y los lotes de semillas debieron expresar su vigor y las pruebas de vigor demostrar la sensibilidad para predecir el mismo. Otro aspecto para destacar es el bajo valor de los coeficientes de determinación, por lo cual ninguna prueba de laboratorio determinó en gran medida el comportamiento del cultivo a campo que dependió de otros factores como la fecha de siembra.

4.4 CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES PRE-COSECHA Y POST-COSECHA

Para las dos fechas de siembra no se registraron correlaciones significativas entre la densidad de plantas y la cobertura a los 7 y/o 14 días post-emergencia con la biomasa sobre la altura de corte, rendimiento, índice de cosecha y peso de mil granos; a excepción del NDVI a los 14 días post-emergencia en la fecha de siembra de mayo, que presentó correlación significativa con la biomasa sobre la altura de cosecha ($r = 0,40$; $p = 0,029$) y con el índice de cosecha ($r = -0,42$; $p = 0,0222$).

La correlación positiva y significativa entre el NDVI a los 14 días post-emergencia y la biomasa sobre la altura de cosecha en la fecha de siembra de mayo, coincide con Ferraris et al. (2020) quienes señalaron que el NDVI es un fuerte estimador de la biomasa aérea. Este dato podría ser de utilidad, ya que con mediciones tempranas de NDVI se puede tener una noción de cómo serán los valores de biomasa aérea del cultivo, los cuales, según Ferraris et al. (2020), están fuertemente correlacionados ($r = 0,88$) con el rendimiento en grano.

La correlación negativa y significativa entre el NDVI y el índice de cosecha está relacionada con la fórmula de cálculo de dicho índice, la cual involucra la biomasa aérea y el rendimiento en grano. Cuando la biomasa del cultivo aumenta, el NDVI también se incrementa y el índice de cosecha disminuye si el rendimiento se mantiene constante.

La falta de correlaciones puede estar explicada por la plasticidad del cultivo, mencionada por Angadi et al. (2003), debido a la cual las diferencias que se observaron en el desarrollo inicial del cultivo no se reflejaron en variables de fin de ciclo.

En este sentido, el rendimiento de grano dependió de la fecha de siembra ($p < 0,0001$). En cambio, los distintos lotes de semillas ($p = 0,1256$) y la interacción de estos con la fecha de siembra ($p = 0,312$) no presentaron efectos significativos sobre dicha variable.

La fecha de siembra de mayo, en promedio, presentó mayor ($p < 0,0001$) rendimiento de grano (6009 kg/ha) que la fecha de siembra de junio (4697 kg/ha). Estos resultados no fueron producto de la densidad de plantas de cada fecha de siembra, sino de cómo afectaron las condiciones climáticas en cada fecha de siembra al desarrollo de esas plantas y posterior concreción del rendimiento. En este sentido, Angadi et al. (2003) no observaron diferencias en el rendimiento para poblaciones en un rango entre 40 y 80 plantas/m² lo que demostró la plasticidad del cultivo. No obstante, esta plasticidad se puede ver afectada por las condiciones climáticas y provocar diferencias en rendimiento, como ocurrió en el presente estudio.

Los resultados anteriores también coinciden con lo reportado por Coll y Larrosa (2010), quienes indicaron que mayores rendimientos se obtuvieron en fechas de siembra dentro del mes de abril y principios de mayo, con respecto a fechas de siembra de fines de mayo y junio. Por otra parte, no coinciden con lo obtenido por Baccino y Kacevas (2016), quienes no registraron rendimientos significativamente diferentes para fechas de siembra de abril, mayo y junio.

En el Cuadro 13 se presentan los valores de las medias obtenidas en las variables pre-cosecha y post-cosecha para cada fecha de siembra.

Cuadro 13. Medias de variables pre-cosecha y post-cosecha para cada fecha de siembra

Variables	Fecha de siembra	
	Mayo	Junio
Pre-cosecha		
Densidad de plantas a los 7 DPE (plantas/m ²)	78 a	55 b
Densidad de plantas a los 14 DPE (plantas/m ²)	81 a	61 b
Cobertura a los 14 días post-emergencia (%)	3,5 a	1,7 b
NDVI a los 14 días post-emergencia (%)	0,25 a	0,26 b
Post-cosecha		
Rendimiento (kg/ha)	6009 a	4697 b
Biomasa sobre altura de corte (kg/ha)	17314 a	13134 b
Índice de cosecha (%)	0,35 a	0,36 b
Peso de mil granos (g)	3,72 a	3,78 b

Medias con distintas letras son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) dentro de cada variable. DPE: días post-emergencia.

5. CONCLUSIONES

El peso de mil semillas no fue un buen indicador de la germinación y el vigor de los distintos lotes de semillas, esto confirma que la calidad de la semilla depende de varios factores tales como el manejo del cultivo, el momento de cosecha y cuidados durante el procesamiento y almacenamiento.

La prueba de emergencia de radícula debería ser implementada como un análisis de rutina debido a que se realiza juntamente con la prueba de germinación estándar y sus resultados son buenos indicadores de la germinación final. Además, es rápida y sencilla, por lo tanto, se adapta a las ventanas de siembra del cultivo que se caracterizan por ser acotadas debido a las condiciones climáticas en el invierno.

Las pruebas de frío son confiables para determinar el vigor de lotes de semillas de canola, principalmente la prueba de frío 2, sin embargo, su desventaja con respecto a la prueba de emergencia radicular es que la duración del tiempo de análisis es mayor y no predicen la germinación final de los lotes.

El procedimiento que se usó para implementar la prueba topográfica por tetrazolio no permitió diferenciar los lotes con diferente vigor. Estudios futuros deberían evaluar combinaciones de tiempos de imbibición de las semillas, concentración de la solución de tetrazolio y tiempos de tinción. Esto podría ser un avance significativo hacia la elaboración de padrones de vigor por tetrazolio para semillas de canola.

La densidad de plantas y la cobertura de la canopia en la etapa inicial de crecimiento del cultivo y durante todo el período de evaluación fueron superiores cuando la siembra se realizó en mayo. Si consideramos todo el período de evaluación el NDVI también se comportó del mismo modo, consecuentemente la fecha de siembra de mayo presentó mayor rendimiento de grano y biomasa sobre altura de corte. Estos resultados demuestran la importancia de las condiciones climáticas, principalmente precipitaciones, temperatura y heladas, sobre la implantación y desarrollo del cultivo de canola.

En ambas fechas de siembra la densidad de plantas a los 7 DPE fue muy similar a la media de todo el período de evaluación. Entonces, el conteo de plantas a los 7 DPE podría ser un buen estimador de la densidad de plantas con la cual se desarrollará el cultivo. También es importante remarcar que la densidad de plantas inicial del cultivo es muy dependiente de la fecha de siembra.

Lotes de mayor vigor presentaron mayor cobertura de la canopia a los 14 DPE, lo cual es de gran importancia para generar una rápida competencia entre el cultivo y las malezas de hoja ancha por los recursos disponibles. Utilizar para la siembra lotes de buen vigor reduciría la necesidad de aplicar herbicidas y contribuiría a un manejo del cultivo más amigable con el ambiente.

En general, las pruebas de laboratorio no estimaron la performance del cultivo a campo. La prueba de emergencia de radícula y la prueba de frío 2 presentaron asociación

positiva, aunque reducida, con la cobertura de la canopia en la fecha de siembra de mayo. Por consiguiente, estas pruebas solo aportan información cuando las condiciones de siembra son favorables.

Cuando las condiciones de desarrollo del cultivo fueron desfavorables, la prueba de frío 1 presentó asociación, aunque de reducida magnitud con la biomasa sobre la altura de corte y el índice de cosecha. Esto demuestra que los resultados de la prueba se asocian con variables relacionadas a las etapas finales del cultivo en condiciones de siembra desfavorables.

Los bajos valores de regresión entre las pruebas de laboratorio y las variables de campo demostraron que la implantación y el desarrollo del cultivo dependen de muchos factores. En nuestro trabajo no hubo condiciones de anegamiento a la siembra, trabajos futuros podrían explorar el comportamiento de lotes con diferente vigor bajo esta condición.

En este trabajo se obtuvo un rango de densidades de 55 a 81 plantas/m², esto, asociado a la plasticidad del cultivo, determinó que no se observara relación entre las variables de crecimiento y el desarrollo del cultivo con las de cosecha. Sin embargo, el índice verde normalizado a los 14 días post-cosecha podría ser utilizado en conjunto con otros factores dentro de un modelo para predecir la biomasa sobre la altura de corte y estimar el rendimiento en grano del cultivo de canola.

6. RESUMEN

Uno de los principales problemas que presenta el cultivo de canola (*Brassica napus* L.) a nivel nacional es la baja eficiencia de implantación, especialmente cuando se retrasa la época de siembra. Lo cual, entre otros factores, depende de la utilización de semilla de alto potencial fisiológico. Los resultados de la prueba de germinación estándar se pueden utilizar para predecir la densidad de plantas a nivel de campo cuando las condiciones de siembra son favorables. Pero la prueba es incapaz de detectar diferencias en la performance a campo, bajo condiciones sub-óptimas, entre lotes de semillas con alta germinación. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la germinación y diferentes métodos de estimación de vigor de semillas de canola y estudiar su relación con el comportamiento a campo del cultivo, en dos fechas de siembra. Para ello se realizaron estudios de laboratorio y campo en la estación experimental del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), La Estanzuela, en Colonia, Uruguay, entre marzo y diciembre de 2019. Se trabajó con cinco lotes de semillas, a los cuales se les determinó la germinación, el peso de mil semillas y el vigor (mediante la prueba de emergencia de radícula, prueba de frío y prueba topográfica por tetrazolio). Los lotes fueron sembrados a campo en dos fechas de siembra, mayo y junio. El diseño del experimento fue en bloques completos al azar con 6 repeticiones para cada fecha de siembra. A partir de los 7 días post-emergencia (7 DPE), con una frecuencia semanal, hasta los 49 días post-emergencia se realizaron determinaciones de densidad de plantas, cobertura de la canopia e índice verde normalizado, para cada lote de semillas y fecha de siembra. También se determinaron la biomasa sobre altura de corte, rendimiento de grano y peso de mil granos. Las medias de los resultados de las diferentes pruebas evaluadas en laboratorio fueron clasificadas según mínima diferencia significativa (Test MDS de Fisher, alfa = 0,05). Además, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman entre dichas variables. Las variables de campo se estudiaron mediante modelos lineales generales y mixtos, con posterior análisis de varianza y test de comparación de media (Test MDS de Fisher, alfa = 0,05). Se realizó análisis de regresión lineal entre las variables de laboratorio y de campo para obtener el coeficiente de determinación (R^2). Por último, se estudió la correlación entre las variables de campo, mediante la correlación de Pearson o Spearman, dependiendo de la normalidad de cada variable. Los resultados fueron analizados en el software estadístico InfoStat. El peso de mil semillas no fue un buen indicador de germinación y vigor de los distintos lotes de semillas. En cuanto a las pruebas de vigor, la prueba de emergencia de radícula fue el método más sensible para detectar diferencias de vigor entre lotes de germinación similar, seguida por las pruebas de frío. La prueba topográfica por tetrazolio no permitió establecer diferencias significativas de vigor entre los distintos lotes de semillas. Estudios futuros deberían establecer el procedimiento para evaluar el vigor en semillas de canola. La densidad de plantas a los 7 DPE, 14 DPE y durante todo el período de evaluación fue mayor para la fecha de siembra de mayo que para la de junio. Además, se observó que un conteo de plántulas a los 7 DPE podría ser buen indicador de la cantidad de plantas que presentará en cultivo durante su desarrollo. Si bien el vigor de los lotes no tuvo efecto significativo sobre la densidad de las plantas

durante todo el ciclo del cultivo, los lotes de mayor vigor presentaron mayor cobertura de la canopia a los 14 DPE (3 % y 2,6 %), con respecto a los lotes de menor vigor (2,5 % y 2,3 %). Esto es de gran importancia para generar una rápida competencia entre el cultivo y las malezas por los recursos disponibles. Si se considera todo el período de evaluación, el índice verde normalizado fue mayor para la fecha de siembra de mayo (0,54) que para la de junio (0,45), esto se tradujo en un mayor rendimiento de grano y biomasa sobre altura de corte. Estos resultados demuestran la importancia de las condiciones climáticas, principalmente precipitaciones, temperatura y heladas sobre la implantación y desarrollo del cultivo de canola. En cuanto a la correlación entre las variables de laboratorio y campo se dieron pocas relaciones significativas, siendo la mayoría de estas en la fecha de siembra de junio, cuando se dieron las condiciones climáticas más estresantes para el cultivo. Esto demuestra que la implantación y el desarrollo del cultivo dependen de muchos factores. Para el rango de densidad de plantas obtenido en este estudio (55 a 81 plantas/m²), no se observaron asociaciones significativas entre las variables evaluadas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo (pre-cosecha) con las variables de productividad del cultivo (post-cosecha), esto podría estar asociado a la plasticidad de este. No obstante, el índice verde normalizado a los 14 DPE presentó asociación positiva con la biomasa sobre la altura de corte y el rendimiento en grano, por lo cual, podría ser utilizado en conjunto con otros factores dentro de un modelo para predecir dichas características. El rendimiento en grano solo dependió de la fecha de siembra.

Palabras clave: *Brassica napus* L.; Canola; Lotes de semilla; Prueba estándar de germinación; Pruebas de vigor; Densidad de plantas; Fecha de siembra.

7. SUMMARY

One of the main problems that canola (*Brassica napus* L.) crop presents at national level is the low implantation efficiency, especially when seeding date is delayed. Which, among others factors, depends on the utilization of high physiological potential seeds. Standard germination test results can be used to predict plants density at field level when seeding conditions are favorable. But this test is unable to predict differences on field performance of high germination seeds lots, under sub-optimum conditions. The aims of this work were to assess the germination and different estimation vigor tests of canola seed and study its relationship with the behavior of the crop in the field, on two seeding dates. For its laboratory and field studies were carry out at the Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Estanzuela, Colonia, Uruguay, between March and December of 2019. Five seed lots were used, for which germination, thousand seeds weight and vigor (through radicle emergence test, cold test, and topographical tetrazolium test) was determinate. Seed lots were sown in the field at two seeding dates, May and June. Experiment design was in complete randomized blocks with 6 replications for each seeding date. From the 7 days post-emergence (7 DPE) to the 49 days post-emergence plant density, canopy cover and normalized green index were determined weekly, for each seeds lot and seeding date. Biomass over cut height, yield and thousand grain weight were done as well. Means of the results of the different tests assessed at laboratory were classified by least significant difference (LSD Fisher Test, $\alpha = 0,05$). Correlation coefficients between these variables were also calculated. Field variables were studied through generalized linear mixed models, with subsequent variance analysis and mean comparison test (LSD Fisher Test, $\alpha = 0,05$). Linear regression analysis between laboratory and field variables were made to obtain the determination coefficient (R^2). Finally, the correlation between the field variables were studied, through Pearson or Spearman correlation, depending on each variable normality. Results were analyzed on the statistical software InfoStat. Thousand seeds weight was not a good indicator of germination and vigor of the different seeds lots. In terms of vigor tests, the radicle emergence test was the most sensitive method to detect differences between similar germination seeds lots, followed by the cold tests. Topographical tetrazolium test did not allow to establish significant differences of vigor between the different seeds lots. Future works should establish the procedure to assess vigor on canola seeds. Plant density for the 7 DPE, 14 DPE and for the whole evaluation period was superior for May seeding date than June seeding date. Also was observed that seedlings count at the 7 DPE could be a good indicator of the amount of plant that the crop will present during its development. Although seed lots vigor did not have significant effect over plant density during the whole crop cycle, seeds lots with higher vigor presented higher canopy cover at the 14 DPE (3 % and 2,6 %), with respect to lower vigor seeds lots (2,5 % and 2,3 %). This is pretty important to generate a quick competence between the crop and the weeds for available resources. If the whole period of evaluation is considered the normalized green index was higher for the May seeding date (0,54) than the June seeding date (0,45), this was translated on a higher grain and biomass over cut height yield. These results show the

weather conditions importance over canola crop implantation and development, mainly precipitations, temperature and frosts. In terms of correlation between laboratory and field variables there were few significant relationships, being most of these on the June seeding date, when the most stressful climatic conditions for the crop existed. This demonstrate that the implantation and development of the crop depends on several factors. For the plants density range obtained in this work (55 to 81 plants/m²), there was no significant associations observed between the variables assessed during the crop growth and development (pre-harvest) with the crop productivity variables (post-harvest), this could be associated with the crop plasticity. Nevertheless, the normalized green index at 14 DPE shown positive association with biomass over cut height and grain yield, for which it could be used together with other factors into a model to predict these characteristics. Grain yield only depended on the seeding date.

Key words: *Brassica napus* L.; Canola; Seeds lots; Standard germination test; Vigor tests; Plant density; Seeding date.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre Wibmer, M.; Uriarte Puppo, I. 2010. Respuesta del cultivo de colza-canola (*Brassica napus*) a las condiciones físico-químicas del suelo a nivel de chacra. (en línea). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 50 p. Consultado 9 jun. 2020. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/23457>
2. Alves, D. 2000. Colza – canola, una nueva alternativa de invierno. (en línea). Revista del Plan Agropecuario. no. 90:s.p. Consultado 1 abr. 2020. Disponible en https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R90/R90_51.html
3. Amirmoradi, S.; Feizi, H. 2017. Can mean germination time predict seed vigor of canola (*Brassica napus* L.) seed lots? (en línea). Acta Agrobotánica. 70(4):1729-1734. Consultado 2 ene. 2021. Disponible en [10.5586/aa.1729](https://doi.org/10.5586/aa.1729)
4. ANCAP (Administración Nación al de Combustibles, Alcohol y Portland, UY). s.f. Biodiesel. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 1 abr. 2020. Disponible en <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/1592/1/innova.front/biodiesel.html>
5. Angadi, S. V.; Cutforth, H. W.; McConkey, B. G.; Gan, Y. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. (en línea). Crop Science. 43(4):1358-1366. Consultado 25 feb. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1358>
6. AOSA (Association of Official Seed Analysts, CH). 1983. Seed vigor testing handbook: contribution no. 32. Zurich. 88 p.
7. Arshad, M. A.; Gill, K. S. 1997. Barley, canola and wheat production under different tillage-fallow-green manure combinations on a clay soil in a cold, semiarid climate. (en línea). Soil and Tillage Research. 43(3-4):263-275. Consultado 4 jun. 2020. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00017-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00017-2)
8. Baccino, S.; Kacevas, A. 2016. Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento y la calidad del cultivo de colza. (en línea). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 79 p.

Consultado 6 jul. 2020. Disponible en

https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/19647/1/TTS_BaccinoOliveraSebasti%c3%aInIgnacio_KacevasMorenoAgust%c3%adn.pdf

9. Bilgili, U.; Sincik, M.; Uzun, A.; Acikgoz, E. 2003. The influence of row spacing and seeding rate on seed yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). (en línea). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 189(4):250-254. Consultado 19 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00037.x>

10. Brandt, S. A.; Ulrich, D.; Lafond, G.; Mahli, S.; Johnston, A. M. 2002. Management for optimum yield of open pollinated and hybrid canola. (en línea). *In: Soils and Crops Workshop (2002, Saskatchewan, Canada). Proceedings. Saskatchewan, University of Saskatchewan. s.p.* Consultado 25 jun. 2020. Disponible en <https://harvest.usask.ca/handle/10388/9763>

11. _____; Malhi, S. S.; Ulrich, D.; Lafond, G. P.; Kutcher, H. R.; Johnston, A.M. 2007. Seeding rate, fertilizer level and disease management effects on hybrid versus open pollinated canola (*Brassica napus* L.). (en línea). *Canadian Journal of Plant Science*. 87(2):255-266. Consultado 19 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.4141/P05-223>

12. Brill, R. D.; Jenkins, M. L.; Gardner, M. J. 2014. Canola establishment – does size matter? (en línea). *In: Grains Research Update for Advisers (2014, New South Wales). Updates 2014: proceedings. Bendigo, Victoria, New South Wales, GRDC. pp. 59-63.* Consultado 3 jul. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282664401_Can_canola_may_be_used_to_treat_cancer

13. _____; _____; _____; Lilley, J. M.; Orchard, B. A. 2015. Optimising canola establishment and yield in south-eastern Australia with hybrids and large seed. (en línea). *Crop and Pasture Science*. 67(4):409-418. Consultado 25 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1071/CP15286>

14. Canola Council of Canada, CA. 2020. Canola encyclopedia. (en línea). Winnipeg. s.p. Consultado 17 jun. 2020. Disponible en <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/plant-establishment/environmental-effects/#fnote4>

15. Cencig, G.; Villar, J.; Demarchi, G. 2011a. Implantación de colza en siembra directa. Parte 1: efecto de los rastrojos. (en línea). INTA Rafaela.

Publicación miscelánea. no. 119:70-76. Consultado 1 jun. 2020.
 Disponible en
http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/119/70_misc119.pdf

16. _____; _____. 2011b. Implantación de colza en siembra directa. Parte 2: efecto del antecesor. (en línea). INTA Rafaela. Publicación miscelánea. no. 119:77-81. Consultado 1 jun. 2020. Disponible en
http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/119/77_misc119.pdf

17. Centorbi, G.; Botto, J.; Serrago, R.; Menendez, Y.; Rondanini, D. 2015. Tolerancia a heladas y sequía en implantación de colza primaveral (*Brassica napus* L.). (en línea). Boletín Sociedad Argentina de Botánica. 50:174-175. Consultado 20 may. 2021. Disponible en
<https://botanicaargentina.org.ar/boletin-50-suplemento/>

18. Clayton, G. W.; Harker, K. N.; Johnston, A. M.; Turkington, K. T. 1999. Response of hybrid canola to seeding rate, fertility and time of weed removal. (en línea). Paris, France, GCIRC. s.p. Consultado 25 jun. 2020. Disponible en http://www.regional.org.au/au/gcirc/2/351.htm#P0_0

19. Coll, L.; Larrosa L.M. 2010. Efecto de la fecha de siembra y el ciclo sobre el rendimiento de colza. (en línea). INTA. Cultivos de Invierno. Actualización técnica no. 1:33-37. Consultado 15 jun. 2020. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-efecto-de-la-fecha-de-siembra-y-el-ciclo-sobre-e.pdf>

20. _____. 2011. Ciclo, densidad y fecha de siembra del colza en relación con el rendimiento. (en línea). In: Jornada de Cultivos de Invierno (2011, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina). Memorias. Oro Verde, UNER. FCA/INTA. s.p. Consultado 6 jul. 2020. Disponible en
https://www.researchgate.net/publication/319395863_CICLO_DENSIDAD_Y_FECHA_DE_SIEMBRA_DE_COLZA_EN_RELACION_CON_EL_RENDIMIENTO_se_encontro_que_la_fecha_de_inicio_de_floracion_explicaba_un_66_de_la

21. _____. 2012. Influencia del cultivo antecesor en la implantación de colza. (en línea). Oro Verde, Entre Ríos, INTA. s.p. Consultado 1 jun. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-antecesores_colza.pdf

22. Craviotto, R. M.; Arango, M. R. 2009. Evaluando calidad en simiente de maíz: la prueba de frío. (en línea). INTA. Para Mejorar la Producción. no. 41:107-109. Consultado 9 nov. 2020. Disponible en

<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-calidad-maiz-prueba-de-fro.pdf>

23. Cribb, M. 2013. Diseases of canola and their management: the back pocket guide. Canberra, Coretext. 23 p.
24. De León, M.; García, R.; González, P.; Insua, F.; Alcantara, A. 1978. La colza oleaginosa. (en línea). Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 20 p. (Hojas divulgadoras 17/18). Consultado 30 abr. 2020. Disponible en https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1978_17.pdf
25. Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. (en línea). Cultivos Tropicales. 31(1):74-85. Consultado 22 jun. 2020. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011
26. Elias, S. G.; Copeland, L. O. 1997. Evaluation of seed vigor tests for canola. (en línea). Seed Technology. 19(1):78-87. Consultado 14 may. 2021. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/23433252>
27. Elliot, I.; Pérez, C. 2007. Importancia de conocer el vigor de la semilla de soja. (en línea). Paysandú, Comunicado de Clínica Vegetal. 5 p. Consultado 7 nov. 2020. Disponible en <http://clinicavegetal.com/wp-content/uploads/2017/08/VIGOR-DE-SEMILLAS-DE-SOJA.pdf>
28. Elliott, R. H.; Mann, L. W.; Olfert, O. 2005. Vigor tests for evaluating the performance of argentine canola (*Brassica napus* L.) under different growing conditions. (en línea). Seed Technology. 27(2):273-285. Consultado 14 may. 2021. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/23433346>
29. _____.; _____.; _____. 2007. Effects of seed size and seed weight on seedling establishment, seedling vigour and tolerance of summer turnip rape (*Brassica rapa*) to flea beetles, *Phyllotreta* spp. (en línea). Canadian Journal of Plant Science. 87(2):385-393. Consultado 3 jul. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.4141/P06-166>
30. _____.; Franke, C.; Rakow, G. F. W. 2008. Effects of seed size and seed weight on seedling establishment, vigour and tolerance of Argentine canola (*Brassica napus*) to flea beetles, *Phyllotreta* spp. (en línea).

Canadian Journal of Plant Science. 88(1):207-217. Consultado 3 jul. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.4141/CJPS07059>

31. Faber, M.; Ribeiro de Souza, C.; Pazolini, K.; Possenti, J. C.; Panobianco, M. 2015. Criteria for implementation of a tetrazolium test in canola sedes. (en línea). Journal of Seed Science. 37(4):222-227. Consultado 30 dic. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n4153255>
32. Ferraris, G. N.; Mousegne, F. J.; Jecke, F. A.; Vellaz, O. 2020. Respuesta a fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre en *Brassica carinata*: campaña 2019. (en línea). Pergamino, Buenos Aires, INTA. 10 p. Consultado 1 abr. 2021. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/respuesta-a-fertilizacion-con-nitrogeno-fosforo-y-azufre-en-brassica-carinata-campana-2019>
33. Formoso, F. 2008. Instalación de pasturas. (en línea). Revista del Plan Agropecuario. no. 125:52-56. Consultado 6 nov. 2020. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14098/1/125.pdf>
34. Gaetán, S.; Madia de Chaluat, M. S.; Zucotti, S. 1997. Podredumbre radical de la colza 00 (canola) causada por especies del género *Fusarium* spp. (en línea). Boletín de Sanidad Vegetal – Plagas. 23(1):11-15. Consultado 26 ago. 2020. Disponible en https://www.mapa.gob.es/app/publicaciones/art_datos_art.asp?articuloid=1130&codrevista=Plagas
35. Gallo, C.; França-Neto, J. B.; Arango, M.; Gonzalez, S.; Francomano, V.; Carracedo, C.; Costa, O.; Alves, R.; Magnano, L.; Craviotto, R. 2016. Prueba de tetrazolio como método de vigor para semillas de *Glycine max*. Propuesta de validación del método para ISTA. (en línea). INTA. Cultivos Estivales para Mejorar la Producción. no. 54:105-114. Consultado 21 ago. 2020. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/prueba-de-tetrazolio-como-metodo-de-vigor-para-semillas-de-glycine-max-propuesta-de-validacion-del-metodo-para-ista>
36. _____; Arango, M. R.; Craviotto, R. M. 2017. Una prueba nueva para estimar el vigor en lotes de semillas: prueba de emergencia de radícula. (en línea). INTA. Para Mejorar la Producción. no. 56:8-14. Consultado 7 nov. 2020. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/una-prueba-nueva-para-estimar-el-vigor-en-lotes-de-semillas-prueba-de-emergencia-de-radricula>

Society of Agricultural and Biological Engineers. 36(6):1937-1940.
Consultado 1 feb. 2021. Disponible en
<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=28545>

45. Ibarguren, L.; Bertona, A.; Reborá, C. 2020. Siembra directa: el rol de los rastros. (en línea). Revista de Divulgación Científica. 11:s.p.
Consultado 11 ago. 2020. Disponible en
<http://experticia.fca.uncu.edu.ar/numeros-antiores/n-3-2015/85-siembra-directa-el-rol-de-los-rastros>
46. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). s.f. Evaluación y registro. (en línea). Barros Blancos, Canelones, Uruguay. s.p. Consultado 1 abr. 2020.
Disponible en <https://www.inase.uy/EvaluacionRegistro/RNC-RPC.aspx?v=y>
47. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2015. Los suelos del Uruguay. (en línea). In: Jornada de Actualización sobre los Suelos del Uruguay (2015, Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. s.p. Consultado 5 nov. 2020. Disponible en
http://inia.uy/Documentos/P%C3%BABlicos/INIA%20Salto%20Grande/2015/2015_09_03%20-%20Seminaro%20Suelos/02%20Jornada%20Suelos%20Uy%202015%20II.pdf
48. _____. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistema de Información, UY). 2020. Banco de datos agroclimático. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 8 dic. 2020.
Disponible en <http://inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
49. IPNI (International Plant Nutrition Institute, CA). 2016. Cálculos de requerimientos nutricionales. (en línea). s.l. s.p. Consultado 5 jun. 2021.
Disponible en <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
50. ISTA (International Seed Testing Association, CH). 2016. International Rules for Seed Testing. Zurich. 296 p.
51. Khan, M. J.; Khattak, R. A.; Khan, M. A. 2000. Influence of sowing methods on the productivity of canola grown in saline field. (en línea). Pakistan Journal of Biological Sciences. 3(4):687-691. Consultado 19 jun. 2020.
Disponible en 10.3923/pjbs.2000.687.691
52. Komba, C. G.; Brunton, B. J.; Hampton, J. G. 2007. Effect of seed size within seed lots on seed quality in kale. (en línea). Seed Science and

Technology. 35(1):244-248. Consultado 1 feb. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.15258/sst.2007.35.1.23>

53. Kondra, Z. P.; Campbell, D. C.; King, J. R. 1983. Temperature effects on germination of rapeseed (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). (en línea). Canadian Journal of Plant Science. 63(4):1063-1065. Consultado 16 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.4141/cjps83-135>
54. Latifi, N.; Soltani, A.; Spanner, D. 2004. Effect of temperatura on germination components in canola cultivars. (en línea). Iranian Journal of Agricultural Sciences. 35(2):313-321. Consultado 16 jun. 2020. Disponible en <https://worldveg.tind.io/record/33517/>
55. Leeks, C. R. F. 2006. Determining seed vigour in selected Brassica species. (en línea). Thesis MSc. of Agricultural Science. Christchurch, New Zealand. Lincoln University. 187 p. Consultado 15 may. 2021. Disponible en <https://core.ac.uk/display/35461241?recSetID=>
56. Mahli, S. S.; Brandt, S.; Ulrich, D.; Lafond, G. P.; Johnston, A. M.; Zentner, R. P. 2007. Comparative nitrogen response and economic evaluation for optimum yield of hybrid and open-pollinated canola. (en línea). Canadian Journal of Plant Science. 87(3):449-460. Consultado 25 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.4141/P05-180>
57. Manfrini, D. 2004. Aspectos a tener en cuenta: análisis de vigor en semillas. (en línea). Revista del Plan Agropecuario. no. 111:56-58. Consultado 2 jul. 2020. Disponible en https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R111/R111_56.pdf
58. Manjarrez, F. J.; Díaz, R.; Carballo, A.; Estrada, A.; Vaquera, H.; Acosta, J. A.; Ávila, M. A.; Gámez, A. J. 2017. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad de semilla de canola. (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(4):933-948. Consultado 7 nov. 2020. Disponible en [10.29312/remexca.v8i4.18](https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.18)
59. Marañón, T.; Grubb, P. J. 1993. Physiological Basis and Ecological Significance of the Seed Size and Relative Growth Rate Relationship in Mediterranean Annuals. (en línea). Functional Ecology. 7(5):591-99. Consultado 13 nov. 2020. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/2390136>
60. Marcos Filho, J. 2015. Fisiologia da sementes de plantas cultivadas. Londrina, FEALQ. 659 p.

61. Martino, D.; Ponce de León, F. 1999. Canola: una alternativa promisoría. (en línea). Montevideo, INIA. 98 p. (Serie Técnica no. 105). Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2848/1/111219240807140032.pdf>
62. Matilla, A. J. 2008. Desarrollo y germinación de las semillas. (en línea). In: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. eds. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, McGraw-Hill. pp. 537-558. Consultado 2 jul. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/271512205_Development_and_germination_of_seeds
63. Matthews, S.; Wagner, M.; Kerr, L.; McLaren, G.; Powell, A. 2012. Automated determination of germination time courses by image capture and early counts of radicle emergence lead to a new vigour test for winter oilseed rape (*Brassica napus*). (en línea). Seed Science and Technology. 40(3):413-424. Consultado 13 may. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.15258/sst.2012.40.3.12>
64. MGAP. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2019. Anuario, análisis sectorial y cadenas productivas: temas de política. Estudios. Montevideo. 663 p.
65. _____. _____. 2020. Anuario, análisis sectorial y cadenas productivas: temas de política. Estudios. Montevideo. 666 p.
66. Milošević, M.; Vujaković, M.; Karagić, Đ. 2010. Vigour tests as indicators of seed viability. (en línea). Genetika. 42(1):103-118. Consultado 11 may. 2021. Disponible en <http://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?id=0534-00121001103M#.YJsUHLUzbIV>
67. Möller, B.; Meikle, C. 2018. Evaluación y caracterización de genotipos avanzados de *Brassica carinata* A. Braun como alternativa de producción invernal en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Empresa. Facultad de Ciencias Agrarias. 89 p.
68. Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. (en línea). In: Rosselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 387 - 405. Consultado 12 ago. 2020. Disponible en <http://www.procisur.org.uy/siembra-directa-en-el-cono-sur/es>

69. Nery, M. C.; Nery, F. C.; Pires, R. M. O. 2015. Tetrazolium test to evaluate the viability of oil radish sedes. (en línea). Bioscience Journal. 31(3):663-671. Consultado 16 may. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/276424988_Tetrazolium_test_to_evaluate_the_viability_of_oil_radish_seeds
70. Oliveira, R. S. 2001. Atividade residual de imazaquin e alachlor+atrazine para plantio seqüencial de canola. (en línea). Ciência Rural. 31(2):219-224. Consultado 9 jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000200005>
71. Ozden, E.; Ozdamar, C.; Demir, I. 2018. Radicle Emergence Test Estimates Predictions of Percentage Normal Seedlings in Standard Germination Test of Aubergine (*Solanum melongena* L.) Seed Lots. (en línea). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 46(1):177-182. Consultado 2 ene. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.15835/nbha46110871>
72. Pérez, F.; Pita, J. M. 2001. Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. (en línea). Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 15 p. (Hojas divulgadoras 2112). Consultado 2 jul. 2020. Disponible en <https://docplayer.es/6675108-Viabilidad-vigor-longevidad-y-conservacion-de-semillas.html00>
73. Rahnama, A. A.; Asl, J. H. 2014. Evaluation and determination of optimum method and rate of seeding of canola seeds (case study: Khouzestan, South Iran). (en línea). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7(6):341-346. Consultado 11 jun. 2020. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143208853>
74. Ruiz, M. A. 2009. El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. (en línea). INTA. Publicación técnica no. 77. 19 p. Consultado 9 nov. 2020. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/el-analisis-de-tetrazolio-en-el-control-de-calidad-de-semillas.-caso-de-estudio-cebadilla-chaqueña>
75. Ruiz, S. 2015. Rastrojo de cultivos y residuos forestales, programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la región del Biobío. (en línea). INIA. Boletín INIA no. 308. 196 p. Consultado 11 ago. 2020. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40196.pdf>
76. Sarkees, N. A. 2013. Response of growth, yield and oil of rapeseed to sowing method and seeding rate. (en línea). IOSR Journal of Agriculture and

Veterinary Science. 3(1):1-6. Consultado 19 jun. 2020. Disponible en <https://www.iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol3-issue1/A0310106.pdf?id=1876>

77. Schwab, M. I. 2010. Comportamiento agronómico de colza según fechas de siembra. (en línea). Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Universidad Católica Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. 52 p. Consultado 6 jul. 2020. Disponible en <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/462>
78. Silva, J.; Castillo, J.; Iriarte, L.; Villegas, N. 2010. Cultivo de colza bajo riego en Mendoza. (en línea). Mendoza, INTA. 49 p. Consultado 6 nov. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cultivo_de_colza_bajo_riego_en_mendoza.pdf
79. Taillieu, R. 2007. Seeding speed How fast is too fast? (en línea). Alberta, CA, Alberta Reduced Tillage. s.p. Consultado 12 jun. 2020. Disponible en <https://reducedtillage.ca/article315.html>
80. Torterolo, A.; González, S.; Rossi, C.; Stewart, S. 2021. Incidencia de hongos en la calidad de las semillas de soja: efecto de la aplicación foliar de fungicidas y su relación con la época de cosecha. (en línea). Revista INIA. no. 64:78-82. Consultado 11 may. 2021. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Paginas/publicacionAINFO-61879.aspx>
81. Vigil, M. F.; Anderson, R. L.; Beard, W. E. 1997. Base temperatura and growing-degree-hour requirements for the emergence of canola. (en línea). Crop Science. 37(3):843-849. Consultado 16 jun. 2020. Disponible en <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30100000/1990-1999documents/331%201997%20Vigil%20Crop%20Sci.pdf>
82. Villar, J.; Cencig, G. 2008. Colza en siembra directa. (en línea). INTA Rafaela. Publicación miscelánea. no. 109:89-92. Consultado 28 may. 2020. Disponible en http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/109/trigo2008_089.pdf
83. Villarías, J. L. 2011. El cultivo rentable de la colza como recurso sostenible del agrodiesel. (en línea). Madrid, Ediciones Agrotécnicas. 40 p. Consultado 30 abr. 2020. Disponible en <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rvhvTI8veMC&oi=fnd&pg=PA3&dq=colza+suelo&ots=QVS71ZrG2C&sig=CZLJ62dltDxoyWM6yFCngEfXLGs#v=onepage&q&f=false>

9. ANEXOS

Clasificación	Denominación	Descripción
A	COTILEDONAR	Cotiledones visibles.
B1	PLÁNTULA	1 hoja verdadera desarrollada.
B2		2 hojas verdaderas desarrolladas.
B3 a B6	ROSETA	Hasta 6 hojas verdaderas desarrolladas.
C1		Aparición de hojas jóvenes.
C2	ELONGACIÓN	Entrenudos visibles. Vestigios de ramificaciones principales.
D1		Inflorescencia visible.
D2		Botón cubierto. Inflorescencias secundarias visibles.
E		Botón separado.
F1	FLORACIÓN	Primeras flores abiertas.
F2		Alargamiento rama floral. Numerosas flores abiertas.
G1		Caída de pétalos. 10 primeras siliquis de 2 cm de largo.
G3	MADURACIÓN	Silicuas de más de 4 cm.
G4		Coloreado de granos.
G5		Coloreado de granos.

Figura 1. Escala CETIOM para canola

Fuente: CETIOM (s.f.).

Cuadro 1. Características de los modelos lineales generales y mixtos utilizados en las distintas variables

Características de los modelos lineales generales y mixtos							
Variable	E.F.	E.A.	Corr.	H	Comp.	AIC	BIC
Densidad de plantas 7 DPE	-Lote de semillas -FDS -Lote de semillas*FDS	S	Errores independientes	S	LSD Fisher Alfa=0,05	435,51	456,54
Densidad de plantas 14 DPE	-Lote de semillas -FDS -Lote de semillas*FDS	S	Errores independientes	S	LSD Fisher Alfa=0,05	436,11	457,14
Densidad de plantas 7 DPE - C2	-Lote de semillas -FDS -Lote de semillas*FDS	B	Autorregresivo de orden 1	S	LSD Fisher Alfa=0,05	2674,8	-1323,4
Cobertura 14 DPE	-Lote de semillas -FDS -Lote de semillas*FDS	S	Errores independientes	S	LSD Fisher Alfa=0,05	118,34	139,37
Cobertura 14 DPE - C2	-Lote de semillas -FDS -Lote de semillas*FDS	B	Autorregresivo de orden 1	S	LSD Fisher Alfa=0,05	3135,6	-1553,8
NDVI 14 DPE	-Lote de semillas -FDS -Lote de semillas*FDS	B	Errores independientes	S	LSD Fisher Alfa=0,05	-307,3	-284,36
NDVI todas tomas de datos	-Lote de semillas -FDS -Lote de semillas*FDS	B	Autor regresivo de orden 1	S	LSD Fisher Alfa=0,05	-134,9	-83,47

E.F. = efectos fijos. E.A. = efectos aleatorios. Corr. = correlación. H = heteroscedasticidad. Comp. = comparaciones. B = bloque. DPE = días post-emergencia. S = sin.