

UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GENOTIPOS
AVANZADOS DE *Brassica carinata* A. Braun COMO
ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN INVERNAL EN URUGUAY

Bruno Möller Grasso
Carolina Meikle Messa

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018



EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GENOTIPOS
AVANZADOS DE *Brassica carinata* A. Braun COMO
ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN INVERNAL EN URUGUAY

Tutor:

Ing. Agr. (Ph.D.) Marina Castro Derényi

Tesistas:

Bruno Möller Grasso
Carolina Meikle Messa

MONTEVIDEO, URUGUAY

2018

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:



Ing. Agr. PhD. Sebastián Mazzilli Vanzini
(Presidente del Tribunal)



Ing. Agr. PhD. Marina Castro Derényi
(INIA – Tutor)



Ing. Agr. MSc. Carolina Carballo Douton
(F.C.A)

Nota final:

11 (once)

Fecha:

21 de diciembre de 2018

Autores:



Bruno Möller Grasso



Carolina Meikle Messa

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a nuestras familias y amigos, por el constante apoyo y contención siendo fundamentales para lograr el título de Ingeniero Agrónomo.

Un especial agradecimiento y reconocimiento a nuestra directora de tesis, Ing. Agr. (Ph.D.) Marina Castro Derényi, por su apoyo, orientación y predisposición durante toda la realización de este trabajo, permitiendo llevar a cabo el mismo en tiempo y forma.

Al INIA y todos sus funcionarios que colaboraron, en especial a Ximena Morales, Beatriz Castro, Carlos Ramallo y todo su equipo, ayudándonos tanto en el trabajo de campo como de administración. A su vez, a la Ing. Agr. Silvina Stewart por su colaboración.

También agradecer al estadístico Wilfredo Ibáñez por su ayuda y compromiso.

Agradecer a la empresa UPM, por su importante apoyo brindando recursos genéticos para realizar esta tesis.

Por último agradecer a todos nuestros profesores, compañeros e ingenieros que de una forma u otra colaboraron y acompañaron en el transcurso de nuestra carrera.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| PÁGINA DE APROBACIÓN | I |
| AGRADECIMIENTOS | II |
| LISTA DE TABLAS E ILUSTACIONES | VI |
| RESUMEN | 8 |
| ABSTRACT..... | 10 |
| 1- INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1- Biocombustibles | 14 |
| 1.1.1- Producción a nivel mundial y regional de biocombustibles | 15 |
| 1.1.2- Factores que afectan las decisiones de producción de biocombustibles | 16 |
| 1.1.3- Clasificación de los biocombustibles..... | 18 |
| 1.1.3.1- Biogas | 18 |
| 1.1.3.2- Bioetanol..... | 18 |
| 1.1.3.3- Biodiesel | 18 |
| 1.1.3.4- Diésel Renovable..... | 20 |
| 1.1.3.5- De primera y segunda generación..... | 21 |
| 1.1.4- Características de los cultivos energéticos para producir biocombustibles | 21 |
| 1.2- Características agronómicas y fisiológicas de <i>Brassica carinata</i> A. Braun | 22 |
| 1.2.1- Requerimientos nutricionales | 24 |
| 1.2.2- Preparación del suelo..... | 27 |
| 1.2.3- Profundidad y densidad de siembra..... | 27 |
| 1.2.4- Manejo de malezas | 28 |
| 1.2.5- Enfermedades comunes de <i>Brassica spp.</i> en la región | 29 |
| 1.2.5.1- Damping-off: Tizón de plántulas y podredumbre del hipocótilo..... | 29 |
| 1.2.5.2- Mancha en V o Bacteriosis de la hoja..... | 29 |
| 1.2.5.3- Roya blanca | 30 |
| 1.2.5.4- Amarillamiento y marchitamiento por <i>Fusarium</i> | 30 |
| 1.2.5.5- Virus del mosaico del nabo..... | 31 |
| 1.2.5.6- Mildiu | 31 |
| 1.2.5.7- Podredumbre húmeda del tallo | 31 |
| 1.2.5.8- Mancha Negra o mancha gris | 32 |
| 1.2.5.9- Mancha foliar, canchros del tallo y necrosis de la base..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 1.2.5.10- Fitoplasma | 33 |
| 1.2.5.11- Marchitamiento por <i>Verticillium</i> | 33 |
| 1.2.5.12- Oídio | 34 |
| 1.2.5.13- Hernia de las crucíferas (Club root)..... | 34 |
| 1.2.6- Plagas comunes de <i>Brassica spp.</i> | 34 |
| 1.2.6.1- Palomilla dorso de diamantes (<i>Plutella xylostella</i>)..... | 34 |
| 1.2.6.2- Alticinos (<i>Alticini</i>)..... | 35 |
| 1.2.6.3- Gorgojo (<i>Ceutorhynchus obstrictus</i>)..... | 35 |
| 1.2.6.4- Mamestra configurata | 35 |
| 1.2.6.5- Pulgones (<i>Brevicoryne brassicae</i>)..... | 35 |
| 1.2.6.6- Gusano de la raíz (<i>Delia radicum</i>) | 36 |
| 2- HIPÓTESIS | 37 |
| 3- OBJETIVOS | 37 |
| 3.1- Objetivo general | 37 |
| 3.2- Objetivos específicos | 37 |
| 3.2.1– Caracterizar agronómica y fisiológicamente, así como evaluar la calidad física e industrial, de 13 genotipos experimentales avanzados de <i>Brassica carinata</i> | 37 |
| 3.2.2– Realizar las comparaciones de esos 13 genotipos experimentales con testigos comerciales de <i>Brassica carinata</i> (cv. Avanza 641) y <i>Brassica napus</i> (cv. Rivette). ... | 37 |
| 4- MATERIALES Y MÉTODOS | 38 |
| 4.1- Localización y Diseño Experimental del ensayo | 38 |
| 4.2- Clima de la estación experimental | 39 |
| 4.3- Manejo del cultivo | 41 |
| 4.4- Determinaciones realizadas | 43 |
| 4.4.1- Determinaciones durante el ciclo del cultivo..... | 43 |
| 4.4.2- Determinaciones realizadas en postcosecha | 46 |
| 4.5- Modelo y análisis estadístico | 47 |
| 4.5.1- Modelo para datos con una sola medición en el tiempo (M1) | 47 |
| 4.5.2- Modelo para datos con medidas repetidas en el tiempo (M2) | 48 |
| 5- RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 49 |
| 5.1- Establecimiento de plantas y evolución de población | 49 |
| 5.2- Características fisiológicas | 53 |
| 5.2.1- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 5.3.2- Temperatura de canopia..... | 54 |
| 5.3- Características Agronómicas | 55 |
| 5.3.1- Ciclo del cultivo..... | 55 |
| 5.3.2- Altura de planta, inserción primer silicua y vuelco | 58 |
| 5.4- Evaluación de enfermedades | 60 |
| 5.5- Rendimiento en grano..... | 62 |
| 5.6- Pérdida de grano | 66 |
| 5.7- Relación entre rendimiento y dehiscencia | 68 |
| 5.8- Calidad de grano | 68 |
| 6- CONCLUSIONES | 72 |
| 7- BIBLIOGRAFÍA | 73 |
| 8- ANEXOS | 79 |
| 8.1- ANEXO N°1. Fotografías del experimento | 79 |
| 8.2- ANEXO N°2. Tablas de análisis de varianza de las diferentes variables medidas durante el tiempo en el que se estableció el ensayo | 86 |
| 8.2.1- Comparación del Testigo Rivette contra los materiales experimentales de Brassica carinata y su testigo Avanza 641 | 86 |
| 8.2.2- Variables con una sola medición en el tiempo (Inicio de elongación de tallo) ... | 87 |
| 8.2.3- Variables con más de una medición en el tiempo..... | 87 |
| 8.2.3.1- Plantas m ² en las fechas 04-Jul, 04-Ago y 6-Dic (Postcosecha)..... | 87 |
| 8.2.3.2- Canopeo en las fechas 04-Jul y 04-Ago..... | 87 |

LISTA DE TABLAS E ILUSTACIONES

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Listado de materiales experimentales ubicados en sus respectivas parcelas y bloques..... | 38 |
| Cuadro 2. Precipitaciones y temperaturas mensuales del año 2017 comparado con el promedio histórico de la estación INIA La Estanzuela..... | 40 |
| Cuadro 3. Resultado del análisis químico del suelo previo a la siembra (28/04/2017) y al estado de roseta (19/07/2017). INIA La Estanzuela, 2017. | 42 |
| Cuadro 4. Manejo realizado en el ensayo. | 43 |
| Cuadro 5. Estados fenológicos de la familia <i>Brassica</i> , escala de CETIOM (adaptado de CETIOM, 2008)..... | 44 |
| Cuadro 6. Plantas iniciales y finales, y porcentaje de mortalidad de plantas..... | 51 |
| Cuadro 7. Fechas de comienzo de floración (10%), 50% de floración y madurez fisiológica para cada genotipo de <i>Brassica carinata</i> evaluados en La Estanzuela, en el año 2017..... | 56 |
| Cuadro 8. Altura de planta e inserción de la primera silicua en el tallo principal en los diferentes genotipos de <i>Brassica carinata</i> y los testigos. | 58 |
| Cuadro 9. Comportamiento sanitario de los genotipos experimentales y testigos, evaluado en parcelas sin aplicación de fungicidas, en dos fechas: 12-Set y 16-Oct. | 61 |
| Cuadro 10. Rendimiento de los genotipos, comparados porcentualmente. | 63 |
| Cuadro 11. Coeficientes de Correlación de Pearson entre rendimiento y las demás variables medidas, y probabilidad. | 65 |
| Cuadro 12. Resultados de evaluación de calidad de grano, expresados en contenido de aceite (%), contenido de proteína (%) y peso de mil granos (g). | 69 |
| | |
| Figura 1. Plano de siembra de los materiales experimentales..... | 39 |
| Figura 2. Evolución y conteo de plantas de los genotipos realizados el 04-Jul-2017, 04-Ago-2017 y 06-Dic-2017, expresados en plantas m ⁻² | 50 |
| Figura 3. Cobertura del suelo por parte de plantas realizado el 04-Jul-2017 y 04-Ago-2017, mediante App Canopeo..... | 52 |
| Figura 4. Índice de vegetación de diferencia normalizada, medida a través del <i>Greenseeker</i> . Se encontraron diferencias significativas entre cultivares ($p<0,0001$). | 53 |
| Figura 5. Temperatura de la canopia (°C) de los distintos genotipos medida el 4-ago. | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 6. Ciclo en días desde la emergencia a comienzos de floración, a 50 % de floración y a madurez fisiológica para cada genotipo de <i>Brassica carinata</i> evaluados en La Estanzuela, en el año 2017. | 56 |
| Figura 7. Rendimiento potencial de los genotipos. | 64 |
| Figura 8. Relación entre rendimiento y plantas finales logradas. | 66 |
| Figura 9. Pérdida de grano, por dehiscencia de las silicuas durante el ciclo del cultivo, y pérdidas en la cosecha (05-Dic). | 67 |
| Figura 10. Relación entre el rendimiento en grano de los materiales experimentales y testigos, con la pérdida de granos por dehiscencia durante el ciclo del cultivo y la cosecha. | 68 |
| Figura 11. Contenido de aceite en porcentaje de los materiales experimentales de <i>Brassica carinata</i> y sus testigos Avanza 641 (A641) y Rivette. | 70 |

RESUMEN

La creciente demanda y agotamiento de recursos no renovables como fuente de energía para producir combustibles, ha llevado al interés y a la búsqueda de alternativas para su obtención a partir de fuentes renovables. Uno de estos casos es la producción de biocombustibles a partir de *Brassica carinata* A. Braun. Es un cultivo nuevo, y es una opción de producción invernal interesante para los productores uruguayos, ya que presenta ventajas agronómicas y económicas respecto a *Brassica napus* (Colza). Esto ha sido corroborado por países como Estados Unidos y Canadá, mediante estudios generados en base a esta especie. Algunas de estas ventajas son: potenciales de rendimiento en grano superiores, mayores contenidos de aceite, mayor resistencia a algunas enfermedades e insectos, menor dehiscencia de las silicuas, mayor rusticidad en ambientes limitantes. El presente trabajo consistió en evaluar y caracterizar distintos genotipos de la especie *Brassica carinata* de acuerdo a las condiciones de Uruguay. El experimento se instaló a principios del mes de junio de 2017 en la Estación Experimental La Estanzuela, del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay. Se sembraron 15 genotipos, 13 materiales experimentales de *Brassica carinata*, no registrados en Uruguay, y dos testigos comerciales, uno de la especie *Brassica carinata* (*Brassica carinata* cv. Avanza 641), y otro de *Brassica napus* cv. Rivette, el de mayor área de siembra en Uruguay. El diseño experimental que se utilizó fue bloques incompletos al azar, con 3 repeticiones. Las variables que se registraron durante el ciclo del cultivo para caracterizar los genotipos fueron: fecha de emergencia, población de plantas (pl m^{-2}), cobertura vegetal (%), temperatura de la canopia ($^{\circ}\text{C}$), índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), fecha de floración, ciclo en días a fin de floración y a madurez fisiológica, altura de planta (m) e inserción de primera silicua (m), evaluación de enfermedades, rendimiento en grano (kg ha^{-1}), estimación de pérdidas de grano por dehiscencia (kg ha^{-1}). Luego de la cosecha, se evaluó la calidad física [peso mil granos (g)] e industrial [contenido de aceite (%) y de proteína (%)]. Los resultados obtenidos demostraron una superioridad por parte de los genotipos de *Brassica carinata* en rendimiento en grano y contenido de aceite, y

una menor dehiscencia en comparación con el testigo de *Brassica napus*, evidenciando una mayor rentabilidad potencial y posibilidad de adopción de este nuevo cultivo por parte de los productores uruguayos.

Palabras clave: *Brassica carinata*, biocombustible, Green diesel, aceite vegetal, dehiscencia.

ABSTRACT

The increasing demand and depletion of nonrenewable resources as an energy source to produce fuels, has led to search alternatives to obtain them from renewable resources. One of these options is the production of biofuels using *Brassica carinata* A. Braun. This is a new crop, and it turns out to be an interesting alternative for winter production in Uruguay, presenting agronomic and economic advantages compared to *Brassica napus* (Colza). This has been corroborated by countries like Canada and the United States, through studies based on this species. Some of these advantages are: superior yield potential and oil contents, higher resistance to diseases and insects, lower shattering rates, and more rusticity in limiting environments. This study consisted in evaluation and characterization of different genotypes of *Brassica carinata* in Uruguayan conditions. The experiment was sown on the first days of June, 2017 in La Estanzuela Experimental Station of the National Institute for Agricultural Research (INIA), Uruguay. Fifteen genotypes were sowed; 13 were experimental materials of *Brassica carinata* species, not registered in Uruguay, and the other two were commercial checks, one *Brassica carinata* cv. Avanza 641, and other *Brassica napus* cv. Rivette, the most widely sown in Uruguay. The experimental design used was incomplete random blocks, with three replications. The variables recorded during the crop cycle to characterize the genotypes were: date of crop emergency, plants density (pl m²), soil coverage (%), canopy temperature (°C), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), flowering date, cycle in days at end of flowering and at physiological maturity, plant height (m) and first pod insert (m), diseases evaluation, grain yield (kg ha⁻¹) and pod shattering (kg ha⁻¹). After harvest, physical [thousand kernel weight (g)] and grain industrial quality [oil and protein content (%)] was evaluated. The obtained results showed superior grain yield and oil content, and a lower pod shattering for *Brassica carinata* compared with *Brassica napus* control, showing better potential cost effectiveness, increasing the probabilities of adopting this new crop by Uruguayan growers.

Key words: *Brassica carinata*, biofuels, Green diesel, vegetable oil, pod shattering.

1- INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso y la producción de biocombustibles ha registrado un importante aumento, siendo la Unión Europea el mayor productor del biodiesel, con el 80% de la totalidad de biocombustibles empleados. Esta evolución se debe a que se han estado buscando nuevas fuentes de energía que impliquen menores emisiones de gases de efecto invernadero, y a su vez una menor dependencia de fuentes no renovables para generar combustibles (Serrano, 2016).

Según Bittencourt y Reig (2009), la existencia de marcos jurídicos y regulatorios busca fomentar y regular la producción, comercialización y utilización de combustibles obtenidos a partir de fuentes renovables, para así disminuir la dependencia de combustibles de fuentes no renovables. El fin de estas políticas públicas consiste, entre otros, en garantizar la demanda del producto, estableciendo cuotas mínimas de utilización, subsidios y facilidades de crédito, que reduzcan costos de producción, y/o resolver problemas de emisión de contaminantes (Razo et al., 2007).

El aumento no sólo se debe a consideraciones ambientales, sino que, en su momento, también fue afectado por el precio del petróleo, que alcanzó precios muy elevados, lo que llevó a la búsqueda de nuevas alternativas de producción de combustibles a partir de fuentes renovables por parte de países no productores de combustibles fósiles (Razo et al., 2007).

Actualmente los biocombustibles que presentan una mayor producción son el bioetanol y el biodiesel. El primero se obtiene a partir de cultivos como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) o cereales (v.g. *Zea mays*, *Hordeum vulgare*). Por otra parte, el segundo grupo deriva de aceites vegetales de especies como *Glycine max*, *Elaeis guineensis* y *Brassica napus*, donde la Colza (*Brassica napus*), hoy está asumiendo un papel importante para su elaboración. A su vez, se utilizan grasas de origen vegetal o animal (Salinas y Gasca, 2009). Los mismos pueden ser mezclados

con los combustibles obtenidos del petróleo (gasolina y diésel) en forma parcial, o sustituirlos totalmente como en el caso del biodiesel (Cárdenas, 2011).

Uruguay no es ajeno a los cambios en el papel que juegan los biocombustibles a nivel mundial. En los últimos años se ha evolucionado en la elaboración de estos productos, donde el principal es el biodiesel utilizando la Colza (*Brassica napus*) como una de sus principales materias primas (ALUR, 2016). Esto ha conducido a que el área sembrada de la misma en el país pasara de 1.500 a 26.000 hectáreas del año 2004 al 2016 (Mazzilli et al., 2014; Presidencia, 2017), llegando en el 2018 a las 53.000 hectáreas (DIEA, 2018).

A pesar del aumento significativo en el área sembrada, es un cultivo que no se ha podido instalar definitivamente en nuestro sistema de producción, ya sea por problemas productivos como por problemas comerciales. Los problemas productivos y agronómicos siguen generando inestabilidad en la producción de Colza, mientras que el sector comercial es donde se han logrado mayores avances mediante el interés de varias empresas en desarrollar el mercado, una de ellas fue Alcoholes del Uruguay (ALUR) que tuvo una gran influencia proporcionando planes comerciales a productores a quienes les aseguran cierta rentabilidad (Mazzilli et al., 2014).

Uno de los grandes problemas agronómicos y/o productivos con respecto a la producción de *Brassica napus* son los bajos rendimientos obtenidos; los mismos se deben a factores de manejo agronómico tales como la fecha de siembra, fertilización, selección de variedades y a pérdidas durante la cosecha como consecuencia de la dehiscencia que presenta la silicua a fin de ciclo, haciendo que gran parte de sus semillas caigan al suelo (Mazzilli et al., 2014).

Debido a ello, en Uruguay se continúan haciendo investigaciones en *Brassica napus* (Aguirre y Uriarte 2010; Adrover y Ferreira, 2012; Fernández et al., 2015), buscando mejorar su producción y así obtener mejores desempeños. Al mismo tiempo, se están generando nuevas investigaciones en otros cultivos oleaginosos,

como alternativa de invierno a la producción de Colza; un ejemplo es el cultivo de *Brassica carinata*.

Se ha demostrado en países como Estados Unidos y Canadá que posee varias ventajas agronómicas con respecto a *Brassica napus* (Seepaul et al., 2019), las cuales la hacen una alternativa interesante para los productores uruguayos. Mayores rendimientos, mayor tamaño de semilla y contenidos de aceite, mayor resistencia a algunas enfermedades e insectos y una menor dehiscencia, son algunas de las ventajas que presenta esta especie con respecto a la Colza (Seepaul et al., 2019). Distintos genotipos de *Brassica carinata* provenientes de Canadá han sido estudiados en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Uruguay en los años 2014, 2015 y 2016, identificándose genotipos que se adaptan a las condiciones agroecológicas del país (Castro, 2017).

A partir de los estudios realizados en esta especie por el INIA, se logró obtener un genotipo comercial (*Brassica carinata* A. Braun), el cual debido a su adaptación y estabilidad en el tiempo ha aumentado el área sembrada, en 2014 abarcó un total de 50 ha y en el 2018 se sembraron aproximadamente 9.000 ha, siendo la mayor área comercial de esta especie en el mundo (Castro, 2018).

Esta producción, es realizada mediante contrato entre productores y la Empresa UPM Biofuels S.A. En estos contratos se asegura la colocación de lo producido y se establece un precio de compra, el cual es fijado según la referencia del índice de mercado público “Rapeseed (Colza) EURONEXT París”. El mismo puede variar por bonificaciones o condiciones del grano que se establecen en el contrato.

1.1- Biocombustibles

Los biocombustibles se definen como aquellos combustibles obtenidos a partir de biomasa; a su vez, el término biomasa se refiere a cualquier tipo de materia

orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal (Salinas y Gasca, 2009).

A nivel mundial, la dependencia energética está fuertemente relacionada a la producción a partir de fuentes no renovables, tal como el petróleo que ocupa un 80% de la misma (Bittencourt y Reig, 2009). La obtención de petróleo y producción de combustibles está dominada por unos pocos países como Rusia, Irán, Irak, Kuwait, Venezuela y Arabia Saudita, lo que afecta la competencia económica y la posibilidad de otros países de obtener combustibles (López, 2008). Además, se estima que la demanda de petróleo en el mundo aumentará en un 50% en los próximos 20 años, pasando de 94 a 126 millones de barriles diarios. Los crecientes requerimientos de este recurso limitado y en proceso de agotamiento, han llevado a la búsqueda de fuentes renovables para la producción de combustibles, los llamados biocombustibles (Beltrán, 2017).

Otro estímulo a la producción de éstos, es la amenaza sobre el cambio climático causado por las elevadas emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el efecto invernadero que provocan los combustibles obtenidos de fuentes no renovables. El 13% del anhídrido carbónico total, causante del aumento de la temperatura atmosférica, es generado por los motores de los vehículos. Si la energía se obtiene a partir de la biomasa de determinados cultivos oleaginosos, estos previamente han de fijar anhídrido carbónico para efectuar la fotosíntesis, con lo cual las emisiones disminuirían considerablemente e incluso se cerraría el ciclo de CO₂ (Dorado, 2001).

1.1.1- Producción a nivel mundial y regional de biocombustibles

La producción de biocombustibles en el mundo ha tenido un fuerte crecimiento, y se convirtió en la principal oportunidad como fuente alternativa que

tienen los países para responder a la demanda energética, y reducir las contaminaciones (Gómez, 2010). Los principales productores son Estados Unidos (33,2% de la producción), Brasil (21,8%), la Unión Europea (UE) (20,6%) y Argentina (4,1%), aprovechando estas fuentes de energía de origen biológico en sus regiones para potenciar el crecimiento y desarrollo rural. Respecto a América Latina la producción de biocombustibles es liderada por Brasil, Argentina y Colombia, con un mayor interés por parte de estos países en la producción de bioetanol (Gómez, 2016).

En Uruguay, la matriz energética ha estado fuertemente basada en los combustibles fósiles, donde según datos del año 2007, el petróleo representaba el 55%, la hidroenergía el 28%, la leña y el carbón vegetal el 21%, el gas natural el 2% y residuos de biomasa el 3%. Con el pasar de los años, se ha estado desarrollando esta última opción para la producción de bioetanol y biodiesel. La materia prima mayoritariamente utilizada para biodiesel es la Colza (Bittencourt y Reig, 2009).

La composición de la matriz energética de nuestro país, ha tomado otro rumbo en los últimos años, diversificando recursos e intensificando en la adopción de energías renovables, las cuales representaron en el año 2016 un 59 % de las fuentes que generan energía. Esto llevó a que la biomasa supere al petróleo y sus derivados, por primera vez en la historia, en la matriz de abastecimiento de energía, alcanzando un 41% del total. Otro componente importante de la matriz energética uruguaya actual es la energía eólica, la cual tuvo sus inicios en el país en el año 2005, donde no se contaba con ningún parque eólico de gran porte. En el año 2016 se alcanzó el número de 35 parques eólicos instalados, llevando a que la energía eólica representara el 22% de la matriz energética ese mismo año (MIEM, 2016).

1.1.2- Factores que afectan las decisiones de producción de biocombustibles

Según lo establecido por Razo et al., 2007, los siguientes factores influyen sobre las decisiones de producción de biocombustibles:

Factores económicos. Abarcan aquellos factores que afectan el sistema de precios y costos, en consecuencia, tienen un efecto en los incentivos para producir o dejar de producir. Un ejemplo es la posibilidad de un incremento en la demanda de biocombustibles, debido a políticas de seguridad energética y ambiental, que lleve a un aumento de producción, acompañado de una mayor capacidad de uso de los subproductos, que también favorece a la producción.

Factores institucionales. Políticas públicas, que promuevan la producción como las políticas de seguridad energética y ambiental. También políticas de incentivos, créditos e infraestructura, que reduzcan los costos de producción o aumenten la demanda.

Factores ambientales. El aumento de cultivos energéticos lleva a la expansión de la frontera agrícola, desplazando cultivos a zonas más frágiles. Esta mayor demanda de tierras lleva a mayores presiones sobre los recursos naturales y ecosistemas.

Factores de la estructura tecnológica-productiva. Estos factores son aquellos que influyen en la tecnología y técnicas de producción utilizadas, que tienen efecto en la productividad y costos de producción de los agricultores. Tienen un efecto indirecto en la producción de biocombustibles, por ejemplo, mayor inversión por parte de los agricultores promueve la disponibilidad de paquetes tecnológicos, que pueden resultar en aumento de productividad y rendimiento de cultivos. Este aumento puede resultar en una reducción en costos de insumos en la producción de biocombustibles.

Factores de la estructura socio-productiva. Una de las expectativas sobre la producción de biocombustibles es la posibilidad de generar mayores empleos en zonas rurales. Al aumentar la demanda, aumenta la producción, insumos y mano de obra. Por otra parte, ese aumento en la necesidad de mano de obra se puede ver

solucionada con una mayor mecanización, lo que haría que no haya tanto efecto en la generación de empleo.

Otro factor que se puede observar, es una actitud de los productores favorables al cambio, incentivada por inversiones e innovación, política de incentivos y créditos, y por el propio aumento en la producción de biocombustibles.

1.1.3- Clasificación de los biocombustibles

1.1.3.1- Biogas

El biogas se obtiene a partir de residuos orgánicos, los cuales son sometidos a procesos de digestión anaeróbica. Estos residuos, pueden ser residuos sólidos urbanos, estiércol, o residuos de la forestación y agricultura (Tahezadeh y Karimi, 2008).

1.1.3.2- Bioetanol

En relación al bioetanol, la materia prima para producirlo es muy variada, puede obtenerse a partir de cereales (maíz, trigo y cebada), raíces o tubérculos (mandioca, boniato, patata y malanga), celulosa (madera y residuos agrícolas), y sacarosa (remolacha, caña de azúcar, melaza y sorgo dulce). Estos compuestos energéticos se transforman en azúcares, posteriormente en etanol por medio de la fermentación alcohólica. Puede emplearse en mezclas con naftas en mayores o menores proporciones, pero sin sustituirla totalmente, ya que ésta le da a la mezcla estabilidad y resta volatilidad, lo que facilita su uso (Salinas y Gasca, 2009).

1.1.3.3- Biodiesel

Para la producción de biodiesel, como materia prima se utilizan aceites vegetales fritos (aceite de cocina), o aceites vegetales provenientes de distintas

oleaginosas, tales como girasol, cártamo, soja, algodón, colza, entre otras (Dorado, 2001). El biodiesel presenta varias ventajas con respecto a los combustibles derivados del petróleo, las cuales hacen atractiva su producción; algunas de ellas son (Dorado2001):

- Biodegradabilidad. El 98% es biodegradable. Debido a su rápida biodegradabilidad, su riesgo en la contaminación de agua es baja. Por más que los aceites vegetales y sus productos puedan contaminar aguas al igual que el gasoil, se degradan biológicamente al transcurrir varios días.
- Toxicidad. No se considera tóxico, en relación al gasoil, la toxicidad es al menos 15 veces menor.
- Energía renovable. A diferencia de los combustibles fósiles.
- Rendimiento del motor y emisiones contaminantes. El motor proporciona un buen rendimiento, con menores emisiones de CO₂, azufre (S), humos, partículas y compuestos aromáticos. Además, disminuye el ruido y el efecto invernadero, contribuyendo a este último entre 3 y 5 veces menos que el gasoil.

Por otra parte, el mismo autor detalló ciertos inconvenientes que el biodiesel presenta en su producción y posterior uso:

- Medioambientales. Se destaca la peligrosidad en transporte y uso, causada por la inflamabilidad del metanol, reactivo necesario en los procesos de elaboración.
- Balance energético. La desventaja del biodiesel se basa en el mayor requerimiento de energía para su producción frente a la energía que suministra. La sustitución potencial de los biocombustibles es reducida y con costos de producción elevados (Kosmehl y Heinrich, citado por Dorado, 2001).
- Rendimiento del motor y emisiones contaminantes. Aparecen diversos productos de desecho en la producción de biodiesel, aumentan las emisiones de óxidos de nitrógeno, el desgaste es mayor. La potencia disminuye en un 19%.
- Pulverización pobre. Los aceites sin transformar tienen una elevada viscosidad, por lo que resulta imposible conseguir una adecuada atomización, la

dispersión es mala y no es adecuada la ignición. La mejor solución con respecto a esto es la de transesterificar los aceites.

- Arranque y comportamiento en frío. Se ha afirmado que diferentes aceites vegetales, por ejemplo, el de Colza, necesita temperaturas más altas para volatilizarse en relación al gasoil. Esto significa que al usarse en motores puede presentar problemas durante el arranque en frío. La volatilidad es una propiedad muy importante en los motores de compresión, cuando mayor sea la instauración o menor la densidad, mayor será la volatilidad, influyendo notoriamente en el arranque en frío.

1.1.3.4- Diésel Renovable

Se puede obtener otro tipo de biocombustible a partir de aceites vegetales, llamado diésel renovable o *Green diesel*, el cual es similar al biodiesel. Los mismos se diferencian en el proceso de elaboración, para obtener biodiesel se considera la transesterificación de aceites vegetales en presencia de alcoholes de cadena corta y catalizadores (Tesser et al., citado por Beltrán, 2017), mientras que para producir el denominado diésel renovable se aplica un método de hidrotratamiento catalítico (Guzman et al., citado por Beltrán, 2017).

Este producto presenta ciertas ventajas, sobre todo a nivel de eficiencia. A diferencia del biodiesel, que produce grandes cantidades de glicerina como subproducto, éste no lo hace (Bezergianni et al., citado por Beltrán, 2017). Además, tiene un alto índice de cetano y un elevado poder calorífico, por lo que no presenta problemas de gelificación en frío (Bezergianni y Dimitriadis, citados por Beltrán, 2017), de taponamiento de filtros de combustible debido a la formación de gomas y también posee buena compatibilidad con el motor (Alba, citado por Beltrán, 2017).

Otra característica favorable es el contenido de aromáticos menor a 0,1%, que permite una combustión más limpia. Además, presenta adecuados niveles de viscosidad, que se encuentran entre 2,50 y 4,15 cSt, esta propiedad define la medida

de la resistencia del combustible a fluir y el rendimiento de las bombas del combustible y los sistemas de inyección (Bezergianni y Dimitriadis, citados por Beltrán, 2017).

1.1.3.5- De primera y segunda generación

Los biocombustibles también se pueden clasificar en biocombustibles de primera y segunda generación. Los biocombustibles de segunda generación se diferencian de los otros en dos aspectos, se obtienen de vegetales que no tienen un fin alimentario, y se producen con otras tecnologías que los harían más ecológicos y avanzados. El hecho de que se obtengan de materias primas no alimenticias (a diferencia de los de primera generación que su materia prima compite con el alimento), hace que se puedan cultivar en zonas más rústicas que no se utilizan para cultivos con fines alimenticios, en consecuencia, permiten una mayor diversificación con nuevas materias primas, nuevas tecnologías y nuevos productos finales, promoviendo el desarrollo agrícola y agroindustrial (Salinas y Gasca, 2009).

1.1.4- Características de los cultivos energéticos para producir biocombustibles

Existen un gran número de cultivos utilizados con fines energéticos, los cuales, según Dorado (2001) deben contar con las siguientes características:

- Proporción energética o relación entre el ingreso y egreso energético. Para que sea favorable el valor de la energía obtenida, la misma debe representar una proporción mayor que la requerida para obtener el combustible. Esto generalmente se logra con mejoras tecnológicas significativas y la utilización de escasos *inputs*, que permitan una producción considerable (alta producción por unidad de superficie) y pueda ser competitivo.
- Costo de la bioenergía. Estos dependen de diversos factores, como la ubicación, el costo de la tierra, las ganancias de los agricultores y la producción obtenida, con el objetivo de lograr bajos costos para que el cultivo sea competitivo.

- El cultivo. Es beneficioso que estos no sean muy afectados por sequías y plagas, con técnicas de cultivos mínimas y bien conocidas.

1.2- Características agronómicas y fisiológicas de *Brassica carinata* A. Braun

Brassica carinata A. Braun, es una especie recientemente estudiada para la producción de biocombustibles. Es una especie oleaginosa de ciclo invernal, aunque en latitudes mayores a 45° se siembra en primavera, perteneciente a la familia de las Crucíferas y al género de las *Brassica*. Es un alopoliploide procedente de cruces naturales entre *Brassica nigra* y *Brassica oleracea*. *Brassica carinata* es originaria de Etiopía (Bozzini et al., 2007), por lo que se la conoce como Mostaza etíope. Posee un crecimiento vigoroso, con una estructura ramificada que a la madurez puede alcanzar una altura de 1,20 m a 1,50 m, y además el tamaño de su semilla es más grande que otras especies de *Brassica* (Seepaul et al., 2019). La misma es de un color más claro que el castaño oscuro o marrón de la Colza, siendo de color castaño claro.

La presencia de un extenso sistema de raíces pivotantes -0.60 m a 1.00 m-, bajas temperaturas de canopia (°C) y hojas gruesas y cerosas hacen posible una mayor tolerancia a factores estresantes abióticos como sequías, calor y frío (heladas) (Seepaul et al., 2019). De la misma manera, presenta buena tolerancia a factores estresantes bióticos como algunas enfermedades e insectos. A su vez, la maduración del cultivo se produce uniformemente y su silicua presenta moderada resistencia a la dehiscencia, por lo cual es posible obtener una buena calidad de cosecha, perdiendo menor cantidad de granos que la Colza. Incluso, cabe la posibilidad de que sea cosechada directamente sin previo hilerado, reduciendo los costos de producción (Agrisoma, 2015).

Debido a los altos contenidos de ácido erúxico que presenta *Brassica carinata* en el grano, el aceite no puede ser utilizado para consumo humano, como si pueden serlo otros cultivos oleaginosos como lo son la colza y la soja. Por el

contrario, la presencia de dicho ácido, junto con ácido linoléico y menos de un 7% de ácidos grasos saturados, la hacen muy adecuada para su uso como materia prima en la industria, en la producción de biocombustibles (Seepaul et al., 2019).

Además de esta cualidad, luego de que el aceite es extraído del grano se puede obtener un subproducto de gran valor como lo es la harina de *Brassica carinata*. La misma presenta un alto contenido en proteínas y bajo en fibras, lo cual la hace una opción atractiva como aditivo en la alimentación de animales como ganado y aves de corral. Sin embargo, la principal limitante para su uso es el alto contenido de glucosinolatos, que son compuestos tóxicos y antinutritivos los cuales afectan la palatabilidad y pueden generar problemas en la salud del animal. Su uso en Estados Unidos se permite en mezclas hasta un 10%. A modo de reducir los altos contenidos de estos compuestos del grano de *Brassica carinata*, se han empleado diferentes métodos. Uno implica la eliminación física o química durante el procesamiento del grano en sus productos finales, donde lo más usual es utilizar un disolvente en la torta de harina que queda luego de la extracción de aceite. Considerando que los glucosinolatos son lábiles al calor, otro método posible sería aumentar las temperaturas en las etapas de calentamiento dentro del proceso de extracción de aceite (cocción y tostado) para la eliminación de los mismos (Hetherington et al., 2015).

En contraste, esto puede incidir de forma negativa en la calidad de la harina, afectando la calidad y niveles de proteína. Por otra parte, se está trabajando en la manipulación y selección de genotipos con el fin de obtener materiales con menores contenidos de glucosinolatos en el grano. Si fuera posible reducir los niveles de estos compuestos en la harina de *Brassica carinata* al nivel de la harina de Colza, aumentaría aún más el valor del cultivo de Carinata, al poder utilizarse no solo como materia prima industrial, sino agregando la posibilidad de producir un aditivo de calidad para alimentación animal (Hetherington et al., 2015).

Por otro lado, la elevada presencia de glucosinolatos en el grano, puede presentarse como una ventaja respecto a la Colza, ya que esta sustancia no sería apetecida por los pájaros, debido a su olor y sabor, evitando que éstos provoquen daños en el cultivo (Agerbirk et al., citado por Obregón 2016).

Las fechas de siembra son flexibles; en Colza las fechas más apropiadas son entre mayo y junio para las condiciones climáticas de Uruguay, mientras que siembras de agosto y setiembre disminuyen su rendimiento (Castiglioni, citado por Ponce de León et al., 1999), probablemente debido a un acortamiento en las fases de desarrollo, en los periodos de emergencia-floración y floración-madurez, llevando a un menor número de silicuas por planta y menor número de granos por silicua (Thurling, citado por Ponce de León et al., 1999). En Carinata sucede lo mismo, habiendo detrimento en el rendimiento de grano en épocas tardías de siembra (Castro 2017, Mazzilli 2018).

Además, la Carinata al igual que la Colza puede tener un efecto positivo en el rendimiento de cultivos que le siguen en la rotación, logrando un 10% más en el rendimiento de soja o un 10-20% en maíz (Mazzilli, 2018). Por el contrario, se debe tener en cuenta, que una rotación con secuencia de Colza/Soja puede generar problemas a mediano plazo, produciendo graves problemas de erosión debido a un bajo aporte de C al suelo (rastros) (Mazzilli, 2018); a su vez, se potencia un problema en el manejo de enfermedades ya que la soja y las *Brassicas* son huéspedes del mismo patógeno *Sclerotinia sclerotiorum* (Ponce de León et al., 1999).

1.2.1- Requerimientos nutricionales

Según Seepaul et al. (2019), los requerimientos nutricionales de *Brassica carinata* son similares a los de *Brassica napus* (Colza). Los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) en el suelo no deben ser limitantes para que este cultivo se desarrolle de manera adecuada y alcance sus máximos potenciales de rendimiento. El cultivo de Colza, requiere por unidad de producto producido un 25%

más de N, P y K, y aproximadamente el doble de S que lo que requiere un cultivo de trigo. Para un cultivo con un rendimiento potencial de 2,5 ton ha⁻¹ de grano, se necesitan 100 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P, 20 kg ha⁻¹ de K y 10 kg ha⁻¹ de S (IPNI, 2013).

Es recomendable la realización de análisis de suelos en los predios en los cuales se sembrará *Brassica carinata*, para determinar cuál es el estado de disponibilidad de nutrientes y el pH del mismo. Es una especie que se desarrolla mejor en suelos bien drenados y con pH relativamente neutros, con valores que van desde 5,5 a 6,5. Sin embargo, puede desarrollarse en rangos de pH de 4,5 a 8,5, pudiendo ser en los pH más elevados un problema la disponibilidad de Zinc (Zn) y en los pH más bajos el aluminio (Al) y manganeso (Mn) presentarse en niveles tóxicos para las plantas (IPNI, 2013).

El N es un elemento de suma importancia durante todo el desarrollo del cultivo, principalmente en la etapa de mayor crecimiento como lo es la elongación de tallo (IPNI, 2013) y la de botón floral, por lo cual su correcta disponibilidad permite un incremento en ramificaciones y silicuas (GRDC, 2009). Es un cultivo relativamente sensible a la fertilización nitrogenada localizada junto a la semilla, por lo que es necesario asegurarse que el mismo no quede próximo a ella (al menos a 2,5 cm de separación semilla-fertilizante), y genere algún efecto negativo (por salinidad o amonio) para su germinación (Agrisoma, 2015). En cuanto a dosis para la fertilización nitrogenada, se utiliza mayor cantidad de este elemento que en el cultivo de trigo, aunque los niveles críticos no están claramente determinados aún (Martino y Ponce de León, 1999). En adición, dosis excesivas de N a la siembra y en estadios tempranos pueden generar un crecimiento exuberante, generando gran susceptibilidad a sufrir daños por vuelco de plantas; a su vez, altas dosis de este nutriente pueden contribuir a incrementar los contenidos de proteína en la semilla y reducir los contenidos de aceite (IPNI, 2013).

Por el contrario, el P es un nutriente que se requiere en menores cantidades que el N (aunque también supera los niveles requeridos para trigo y cebada por su mayor contenido de proteína en grano), su importancia radica principalmente al inicio del desarrollo del cultivo, posibilitando una buena implantación, con una mayor precocidad y mejor desarrollo de raíces, dándole vigor (IPNI, 2013). Una deficiencia de P puede restringir el desarrollo de las raíces y retrasar la maduración del cultivo (GRDC, 2009). Es un nutriente muy poco móvil en el suelo, por lo que una fertilización localizada junto o lo más próximo a la semilla sería favorable para obtener una buena disponibilidad del mismo (IPNI, 2013). Autores canadienses comprobaron que en sus condiciones el nivel crítico para P es de 15,6 ppm (P Bray), ya que a partir del mismo no existe respuesta al agregado de P (Pouzet, citado por Martino y Ponce de León, 1999).

Otro nutriente sustancial para el cultivo de *Brassica carinata* es el K, el cual interviene en procesos muy importantes que ocurren en la planta, así como lo son la fotosíntesis, activación de enzimas, regulación del uso del agua, síntesis de almidón y de proteínas; se considera que su mayor absorción se da en el estado de elongación de tallo. Además, una adecuada disponibilidad de potasio ayuda a la resistencia contra enfermedades (IPNI, 2013). Puede considerarse que el nivel crítico de K para la mayoría de los cultivos en Uruguay es de 0,25 meq/100 g de suelo de textura media, mientras que para suelos arenosos se estima que los niveles adecuados son de 0,15 meq/100 g de suelo (Casanova, 1996).

El S, se requiere para la formación de clorofila en las hojas, así como también para el desarrollo vegetativo de la planta. A su vez, es un nutriente crítico cuando hablamos de la formación de aceite y proteína (GRDC, 2009). Tanto el N como el S son dos elementos esenciales para la síntesis de proteínas por la planta; el segundo mejora la absorción del primero en los estados de roseta, floración y en la formación de la semilla (Malhi y Leach, 2002). El S no es un nutriente móvil en el suelo tal como sí lo es el N, por lo que se requiere que el mismo esté disponible en el suelo a

demanda del cultivo, desde la siembra hasta su maduración, evitando disminución de rendimientos (IPNI, 2013).

1.2.2- Preparación del suelo

La preparación del suelo para la siembra de *Brassica carinata* es muy importante (así como también lo es para la Colza) debido a su relativo pequeño tamaño de semilla (Agrisoma, 2015). Puede hacerse mediante laboreo convencional, mínimo laboreo o siembra directa, obteniendo diferentes resultados según el método. Los más adecuados para esta especie son el laboreo convencional, o mínimo laboreo, para lograr un buen contacto semilla–suelo y su vez permitir una germinación y emergencia homogénea (Seepaul et al., 2019).

Se debe tener en cuenta que, si se realiza siembra directa sobre rastrojos voluminosos, el mismo tiene que ser disminuido, para que se logre el buen contacto semilla–suelo y no perjudique la emergencia de la plántula (Seepaul et al., 2019).

1.2.3- Profundidad y densidad de siembra

A pesar de que el tamaño de semilla de *Brassica carinata* es relativamente grande con respecto a otras *Brassica*, igualmente condiciona la profundidad de siembra. La misma puede ser de 1,3 cm a 2,0 cm (Seepaul et al., 2019); profundidades mayores pueden generar problemas en la emergencia de la plántula causando un menor y poco homogéneo stand de plantas.

La densidad de siembra recomendada es de 5,5 a 7,0 kg ha⁻¹ buscando lograr una población final de entre 80 a 130 plantas m⁻²; dentro de este rango los rendimientos esperados no se alteran significativamente. Recientemente Mazzilli (2018), agrega que los rendimientos no se ven afectados en un rango de población de entre 30 a 100 pl m⁻². El espaciamiento entre surcos varía desde 0,16 m a 0,34 m, aunque lo más recomendado es la primera opción (Seepaul et al., 2019).

1.2.4- Manejo de malezas

Brassica carinata es una especie que posee un crecimiento inicial (desde emergencia hasta elongación de tallo) lento; sin embargo, si se parte de chacras con un buen control inicial de malezas, puede competir muy bien con estas, ya que luego adopta un crecimiento vigoroso y ramificado, pudiendo así cubrir rápidamente los espacios libres entre surcos (Agrisoma, 2015; Seepaul et al., 2019).

Por lo tanto, la mejor opción al momento de emplear algún tipo de control, tanto químico como cualquier otro método, es en etapas tempranas, sea presembrado, siembra y/o preemergencia del cultivo. Esto se debe a la falta de opciones para el eficiente control químico de hoja ancha en postemergencia del cultivo, al igual que sucede en Colza (Ponce de León et. al, 1999). Si no son controladas en estos momentos, es probable que no afecte significativamente el rendimiento, pero sí disminuirá notablemente la calidad de cosecha, por presencia de semillas de malezas en los lotes comercializados (Seepaul et. al, 2019). A su vez, es importante evitar la siembra de Carinata en lotes que contengan una alta presión de malezas crucíferas como el rábano o la mostacilla, ya que los herbicidas que pueden controlar estas especies también pueden afectar el desarrollo de la especie a sembrar por pertenecer a la misma familia (UPM, 2019).

Respecto al control químico, se recomienda que el reseteo de la chacra (aplicación inmediatamente previa a la siembra) incluya herbicidas totales, solos o en mezcla, como glifosato, glufosinato de amonio o paraquat en función del enmalezamiento predominante y/o la presencia de biotipos resistentes a glifosato. En mezcla con los herbicidas totales es también recomendable la utilización de herbicidas preemergentes. La trifluralina es el herbicida más recomendado por su residualidad y su amplio espectro de control de malezas de hoja ancha. El Clopyralid es otro herbicida que puede ser usado tanto en pre como en posembrado del cultivo y que también presenta cierta residualidad, aunque menor que el de la trifluralina. El control de gramíneas no presenta tales dificultades, ya que se cuenta

con una amplia gama de graminicidas, existiendo diferentes opciones de acuerdo a la eficiencia y la especie que se pretende controlar (UPM, 2019).

Por otra parte, este cultivo responde favorablemente al acercamiento entre filas de siembra, posiblemente por obtener una mayor competencia contra malezas en sus primeras etapas de crecimiento (Mazzilli, 2018).

Las malezas, no sólo generan un problema de competencia con el cultivo que se quiere establecer, también interfieren generando dificultades en la cosecha del mismo. Pueden provocar un mal funcionamiento de la cosechadora por excesos de biomasa, grado de madurez y consistencia en comparación con el cultivo instalado, finalizando en posibles pérdidas de granos y una menor calidad de cosecha.

1.2.5- Enfermedades comunes de *Brassica spp.* en la región

1.2.5.1- Damping-off: Tizón de plántulas y podredumbre del hipocótilo

Esta enfermedad, es causada por *Ceratobasidium spp.* (*Rhizoctonia* binucleada) y *Rhizoctonia solani*. Afecta a diversas partes de la planta, generando la podredumbre de semillas y órganos sexuales en pre-emergencia, estrangulamiento de cuello en post-emergencia, amarillamiento de hipocótilo y tonalidades en hojas de color naranja o púrpura. Las condiciones propicias para el desarrollo de esta enfermedad se dan cuando, durante la emergencia se produce un déficit hídrico y luego se generan excesos de agua con bajas temperatura de suelo.

1.2.5.2- Mancha en V o Bacteriosis de la hoja

Es una enfermedad causada por la bacteria *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. Los síntomas comienzan en los márgenes de las hojas como manchas irregulares, posteriormente se expanden hacia la nervadura central tomando una forma de V, de aspecto seco, con el centro marrón y un ancho halo clorótico.

Posteriormente las nervaduras toman un color oscuro, las hojas toman un aspecto acuoso debido a la gran producción de agua por ruptura de las paredes celulares. Las hojas se secan y quedan de color oscuro casi negro (Formento, 2014). Esta bacteriosis fue diagnosticada en el país por primera vez en *Brassica napus* en 2006 (Stewart, no publicado).

1.2.5.3- Roya blanca

El organismo causal de esta enfermedad es *Albugo candida*. El síntoma característico es la presencia de pústulas eruptivas blancas en la parte inferior de las hojas, pero que pueden ser vistas en otros órganos aéreos de la planta. Cuando la epidermis se rompe, un polvo blanco formado por órganos de origen asexual es liberado (de Lemos et al., 1996). La roya blanca fue reportada por primera vez en el país en *Brassica napus* en 1992 (Perea et al., 1992).

1.2.5.4- Amarillamiento y marchitamiento por Fusarium

Los síntomas se observan desde plántulas a madurez de las plantas. Los primeros síntomas son el amarillamiento de las hojas; con el desarrollo de la enfermedad las hojas inferiores toman un color marrón, aparecen áreas necróticas y puede producirse una senescencia prematura (Formento, 2014). *Fusarium* es capaz de producir pudrición de semillas; esto compromete la calidad de las mismas específicamente reduciendo el contenido de aceite y el peso. Condiciones como temperaturas cálidas y períodos extensos de humedad promueven el desarrollo de la infección y enfermedad al momento de madurez. La rotación de cultivos es una importante medida a tomar para reducir los riesgos de ocurrencia de esta enfermedad, ya que el hongo sobrevive en el rastrojo del cultivo (Seepaul et al., 2019).

1.2.5.5- Virus del mosaico del nabo

Los síntomas de este virus incluyen lesiones cloróticas en forma de mosaico o un patrón moteado en hojas y puede causar la caída prematura de las mismas. Esta enfermedad usualmente es propagada por pulgones los cuales normalmente no prevalecen con bajas temperaturas (Seepaul et al., 2019).

1.2.5.6- Mildiu

Es causada por el hongo *Hyaloperonospora parasítica*, el cual se desarrolla en condiciones ambientales frescas y húmedas, en lugares donde las hojas se encuentran en contacto con el suelo, o en contacto entre ellas y además puede atacar a plántulas. No es común que esta enfermedad produzca grandes pérdidas de rendimiento.

Los primeros síntomas manifestados son manchas cloróticas por el haz en las hojas. Luego es posible observar en el envés de las hojas debajo de las manchas, un moho blanquecino si las condiciones de humedad son favorables (condiciones de rocío o mojado durante varios días).

En estadios avanzados de la enfermedad, estas manchas cloróticas individuales se unen, necrosan y puedan llegar a secarse, tomando coloraciones marrones (GRDC, 2009).

1.2.5.7- Podredumbre húmeda del tallo

Sclerotinia sclerotiorum es el organismo causal de esta enfermedad. Los síntomas se observan en todos los órganos de la planta (hojas, tallo principal, ramificaciones y silicuas). Los mismos se hacen visibles sobre el tallo a fines de la floración. Al comienzo, los tejidos presentan aspecto húmedo, de color grisáceo. Luego las lesiones se alargan hacia arriba y abajo del punto de penetración del

hongo. Las lesiones severas provocan tallos delgados, húmedos y débiles que se oscurecen desde la base y la cutícula tiende a rasgarse provocando una madurez o senescencia prematura. Es posible la formación de cuerpos irregulares negros llamados esclerocios, los cuales pueden permanecer y sobrevivir en el suelo y en rastrojo por más de 5 años (Formento, 2014). *S. sclerotiorum* fue reportada por primera vez en nuestro país en *Brassica napus* en 1992 (Perea et al., 1992).

1.2.5.8- Mancha Negra o mancha gris

Causada por *Alternaria spp.*, es un hongo que daña hojas, tallos y silicuas. Los síntomas comienzan con pequeñas manchas circulares oscuras que tienden a extenderse hacia afuera. En etapas avanzadas, las hojas se marchitan y caen, los tallos se tornan en un color marrón oscuro, e infecciones en la silicua que pueden causar el oscurecimiento de las semillas. *Alternaria brassicicola*- fue reportada por primera vez en *Brassica napus* en 1992 (Perea et al., 1992).

1.2.5.9- Mancha foliar, canchros del tallo y necrosis de la base

Estas enfermedades son causadas por un mismo organismo causal, *Phoma lingam*. La mancha foliar puede provocar damping-off (estrangulamiento del cuello y muerte al estado de plántula) y manchas en cotiledones y en las primeras hojas verdaderas. Las lesiones son circulares al inicio, luego irregulares de color verdoso claro o gris.

Por otra parte, los canchros en tallos aparecen en floración o después de la misma; generalmente se observan como lesiones ovales particularmente en el lugar donde se ha desprendido la hoja, ya que el hongo llega a través de la nervadura central. Posteriormente se alargan tomando un color claro en el centro con márgenes de color negro.

Lo más grave que provoca *Phoma lingam* es la necrosis de la base del tallo. La misma puede no ocurrir aunque se hayan observado manchas foliares y canchros en el tallo en etapas vegetativas. La destrucción de todos los tejidos que forman la base del tallo provoca la muerte y vuelco de plantas cuando las mismas están en madurez. La base toma un color marrón oscuro y luego se decolora quedando de un color grisáceo con puntuaciones negras. Luego la base se estrangula y se seca tomando la raíz principal quedando una forma de embudo. Especies como *B. carinata*, son más resistentes a esta enfermedad que otras especies de *Brassica spp.* (Rimmer et al., 2007).

1.2.5.9.1- Manchas en silicuas

Phoma lingam también produce daños en las silicuas de las plantas, generando manchas de borde casi negro y centro claro, con mucha producción de picnidios y masas de esporos.

1.2.5.10- Fitoplasma

Éste patógeno vive en el floema de la planta y su principal vector es *Macrostelus quadrilineatus*. Causa amarillamiento o enrojecimiento de hojas, tallos y/o silicuas. Puede transformar las flores en hojas estériles y reducir la producción de semillas. Cuanto más temprana sea inoculada la planta con el patógeno, mayores serán los síntomas.

1.2.5.11- Marchitamiento por *Verticillium*

Es un hongo oportunista, el cual afecta a todas las partes de la planta, produciendo senescencia y madurez prematura. Los síntomas en las hojas son coloraciones amarillentas a un solo lado de la nervadura principal al inicio, al momento de floración, luego se afecta toda la lámina secándose. Lo mismo ocurre con el tallo, generándose estrías longitudinales marrones; los tallos que fueron

afectados por este hongo se tornan negro-grisáceos, se marchitan y secan, así como también lo hacen las raíces, la base del tallo y la médula formándose microesclerocios bajo la epidermis.

1.2.5.12- Oídio

El organismo causal de esta enfermedad es *Erysiphe cruciferarum*, y en su estado conidial es *Oidium spp.* Los síntomas son al inicio puntos blancos, que van aumentando de tamaño formando áreas de micelio, conidióforos y conidios de la forma asexual del hongo. Los mismos, pueden observarse en las hojas (ambos lados), tallos y silicuas (Formento, 2014).

1.2.5.13- Hernia de las crucíferas (*Club root*)

Causada por *Plasmodiophora brassicae*, presenta serias amenazas en la producción del cultivo. Provoca la formación de largas agallas en la raíz, las cuales impiden el consumo de agua y nutrientes, causando la muerte de la planta. El movimiento del suelo es el principal mecanismo en controlar la dispersión del patógeno (Agrisoma, 2015).

1.2.6- Plagas comunes de *Brassica spp.*

1.2.6.1- Palomilla dorso de diamantes (*Plutella xylostella*)

Causa retraso de la madurez, desarrollo desigual del cultivo y reduce rendimientos. Los daños aparecen de forma irregular en las hojas ya que se alimenta de ellas, larvas de mayor tamaño pueden alimentarse de brotes, pétalos y silicuas. La actividad de las polillas adultas se ve reducida por un clima ventoso y húmedo. La población de polillas adultas no predice necesariamente el daño producido por larvas.

1.2.6.2- Alticinos (*Alticini*)

Plaga de infestación temprana del cultivo que causa retraso en la emergencia y menor densidad del mismo. Se alimenta de tallos, cotiledones y hojas jóvenes. Las condiciones predisponentes a su presencia son cuando el ambiente es seco, cálido y escaso viento.

1.2.6.3- Gorgojo (*Ceutorhynchus obstrictus*)

El adulto de temprana estación, se alimenta de brotes pudiendo causar una menor emergencia y un menor potencial de rendimiento. El adulto de segunda generación aparece tarde en el verano y se alimenta de granos inmaduros a través de las paredes de la silicua. Es conveniente realizar monitoreo desde la emergencia hasta floración.

1.2.6.4- *Mamestra configurata*

Etapas tempranas de estas larvas dejan huecos irregulares en las hojas al masticarlas, sin embargo no tienden a generar un problema económico. El daño económico sobre el cultivo puede ocurrir durante las últimas dos etapas del desarrollo larvario, cuando la larva puede medir aproximadamente 1,3 cm de longitud, atacando las silicuas, donde las atraviesan y se alimentan de las semillas. En casos extremos las silicuas pueden ser totalmente consumidas (Agrisoma, 2015).

1.2.6.5- Pulgones (*Brevicoryne brassicae*)

Los pulgones realizan picaduras en la planta de la cual extraen savia de sus hojas, brotes e inflorescencias, lo que debilita la planta disminuyendo su vigor. Pueden alcanzar infestaciones elevadas en las inflorescencias, principalmente en la parte apical. Los daños generados por esta plaga no son significativos cuando el ataque ocurre después del completo desarrollo de la silicua, en la fase de llenado de

grano. Las siembras tardías o el uso de cultivares de ciclo largo son más susceptibles a la ocurrencia de esta plaga (Domiciano et al., 1996).

1.2.6.6- Gusano de la raíz (*Delia radicum*)

Se alimenta de los pelos de la raíz, raíces secundarias y raíz principal en la cual son capaces de crear un túnel. Infestaciones severas marchitan a la planta y le confieren un aspecto enfermo. Las raíces dañadas son más susceptibles a enfermedades de raíz. Túneles extensos pueden ceñir a la raíz provocando la muerte de la planta. Al momento no existe un control químico disponible, incrementar el tiempo entre cultivos de *Brassica*, cultivares vigorosos, mayor densidad de siembra, mayor distancia entre hileras y una adecuada fertilidad del suelo, pueden minimizar los daños generados por este insecto (Agrisoma, 2015).

2- HIPÓTESIS

Existe variabilidad en características fisiológicas, agronómicas y de calidad de grano dentro de los diferentes genotipos de *Brassica carinata* A. Braun, como también entre las dos especies, *B. carinata* y *B. napus*.

3- OBJETIVOS

3.1- Objetivo general

Contribuir al estudio de adaptación de una especie nueva en Uruguay del género *Brassica* para su inserción a la rotación agrícola.

3.2- Objetivos específicos

3.2.1– Caracterizar agronómica y fisiológicamente, así como evaluar la calidad física e industrial, de 13 genotipos experimentales avanzados de *Brassica carinata*.

3.2.2– Realizar las comparaciones de esos 13 genotipos experimentales con testigos comerciales de *Brassica carinata* (cv. Avanza 641) y *Brassica napus* (cv. Rivette).

4- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1- Localización y Diseño Experimental del ensayo

El trabajo experimental fue llevado a cabo durante la zafra de invierno 2017. El mismo se realizó en INIA La Estanzuela, Estación Experimental Dr. Alberto Boerger, ubicada en el departamento de Colonia (34° 20' 23.72" S – 57° 41' 39.48" O).

El material vegetal utilizado incluyó 15 genotipos; 13 de ellos son materiales experimentales avanzados pertenecientes a la especie *Brassica carinata* A. Braun, los cuales fueron comparados con dos testigos comerciales, uno de la misma especie (*Brassica carinata* cv. Avanza 641) (A641) y el otro de la especie *Brassica napus* (*Brassica napus* cv. Rivette) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de materiales experimentales ubicados en sus respectivas parcelas y bloques.

| Parcela | Bloque | Tratamiento | Genotipo |
|----------------|---------------|--------------------|-----------------|
| 50101 | 1 | 12 | EXP12 |
| 50102 | 1 | 5 | EXP5 |
| 50103 | 1 | 11 | EXP11 |
| 50104 | 1 | 8 | EXP8 |
| 50105 | 1 | 2 | EXP2 |
| 50106 | 2 | 6 | EXP6 |
| 50107 | 2 | 3 | EXP3 |
| 50108 | 2 | 9 | EXP9 |
| 50109 | 2 | 13 | EXP13 |
| 50110 | 2 | 1 | Avanza 641 |
| 50111 | 3 | 10 | EXP10 |
| 50112 | 3 | 15 | Rivette |
| 50113 | 3 | 4 | EXP4 |
| 50114 | 3 | 7 | EXP7 |
| 50115 | 3 | 14 | EXP14 |

El diseño experimental utilizado fue de Bloques incompletos al azar, con tres repeticiones (I, II y III) y tres bloques incompletos dentro de repeticiones, utilizando como unidad experimental una parcela de 5,5 metros de largo por 0,96 de ancho, conformando un total de 45 parcelas sembradas numeradas del 101 al 315 (Figura 1).

| | | | |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|
| III | 4 9 13 6 3 | 5 14 10 15 7 | 8 11 2 12 1 |
| | 301 302 303 304 305 | 306 307 308 309 310 | 311 312 313 314 315 |
| II | 6 1 14 7 15 | 11 13 5 2 12 | 4 3 9 10 8 |
| | 201 202 203 204 205 | 206 207 208 209 210 | 211 212 213 214 215 |
| I | 12 5 11 8 2 | 6 3 9 13 1 | 10 15 4 7 14 |
| | 101 102 103 104 105 | 106 107 108 109 110 | 111 112 113 114 115 |

Figura 1. Plano de siembra de los materiales experimentales.

4.2- Clima de la estación experimental

Se presenta el régimen hídrico y térmico del año en que el ensayo de evaluación de genotipos de *Brassica carinata* se encontraba instalado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Precipitaciones y temperaturas mensuales del año 2017 comparado con el promedio histórico de la estación INIA La Estanzuela.

| MES | Precipitaciones (mm) | | Temperaturas (°C) | |
|--------------|----------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | 2017 | Promedio histórico LE (1965-2016) | 2017 | Promedio histórico LE (1965-2016) |
| Mayo | 179 | 95 | 24,0 | 23,2 |
| Junio | 10 | 70 | 12,8 | 10,6 |
| Julio | 95 | 72 | 12,3 | 10,2 |
| Agosto | 135 | 73 | 13,5 | 11,5 |
| Setiembre | 168 | 83 | 14,6 | 13,1 |
| Octubre | 122 | 117 | 16,2 | 16,0 |
| Noviembre | 61 | 105 | 18,3 | 18,8 |
| Diciembre | 128 | 98 | 22,3 | 21,7 |
| TOTAL | 898 | 713 | | |

Fuente: GRAS, INIA La Estanzuela (2017; histórico 1965-2016).

Las precipitaciones ocurridas durante el año en el cual se desarrolló el ensayo fueron levemente superiores al promedio histórico registrado en la estación INIA La Estanzuela. En el mes de mayo, las precipitaciones registradas fueron aproximadamente el doble con respecto al promedio histórico. Esto generó que se produjera un atraso en la fecha de siembra, la cual estaba planeada para la primera década de mayo.

Durante el ciclo del cultivo (junio-diciembre) las precipitaciones sumaron un total de 719 mm, siendo así suficientes para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, el cual según IFAPA (2009), puede consumir entre 450 y 500 mm para su buen crecimiento y desarrollo. La distribución de lluvias se puede considerar como uniforme en el transcurso de los meses, lo cual no implicó la existencia de déficit hídrico en ninguna de las etapas de desarrollo.

En cuanto a las temperaturas ocurridas (Cuadro 2), las registradas durante el invierno fueron levemente superiores al promedio histórico, siendo prácticamente

dos grados mayor en los meses de junio, julio y agosto, lo que podría haber afectado el desarrollo del cultivo.

4.3- Manejo del cultivo

El ensayo fue identificado con el N° 50 y con el nombre *Brassica carinata* AYT, ubicado en la chacra 13 c de la estación experimental INIA La Estanzuela, Dr. Alberto Boerger. El cultivo antecesor en esta chacra fue un verdeo conformado por avena (variedad RLE 115) sembrada el 03/03/2016. Previo a la instalación del ensayo, se preparó el suelo mediante laboreo convencional, a efectos de lograr una germinación homogénea de las plantas.

La instalación del ensayo se realizó sembrando parcelas que constan de 6 surcos cada una, con un espaciamiento entre filas de 0,16 m y un largo de 5,5 m con sembradora experimental marca Plotman (Austria). Se sembraron parcelas de borde en cada repetición para lograr competencia poblacional en todas las parcelas.

Con respecto a la densidad de siembra del cultivo, se ajustó la cantidad de semilla a utilizar en cada parcela de acuerdo a la pureza, germinación y peso de mil semillas, a fin de sembrar 117 plantas m².

Previo a la siembra, se realizó un análisis químico de suelo (Cuadro 3) y de acuerdo a sus resultados se fertilizó con fósforo. El manejo de la fertilización nitrogenada se realizó de acuerdo a los resultados del análisis de suelo para la siembra y estado de roseta, además de los resultados del análisis de nitrógeno (N) en planta en estado de elongación del tallo. Se aplicó un fertilizante que contiene azufre y potasio en su formulación, debido a que son nutrientes de suma importancia para el género *Brassica* (Martino y Ponce de León, 1999).

Cuadro 3. Resultado del análisis químico del suelo previo a la siembra (28/04/2017) y al estado de roseta (19/07/2017). INIA La Estanzuela, 2017.

| | pH (H ₂ O) | C.Org % | N-NO3 µg N g ⁻¹ | P Bray I µg P g ⁻¹ | K Meq 100g ⁻¹ | S-SO4 µg S g ⁻¹ | PMN Mg kg ⁻¹ N-NH ₄ |
|---------|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Siembra | 5,4 | 2,22 | 25,2 | 27,5 | 0,76 | 7,5 | 11 |
| Roseta | 5,2 | -- | 20,9 | 35,7 | 1,07 | 9,9 | -- |

El resultado del análisis de N en elongación de tallo tomado el 4 de agosto, fue de 5,92%.

En cuanto al manejo de malezas, se extremaron las medidas para mantener el ensayo libre de éstas, mediante la utilización de herbicidas preemergentes, graminicidas postemergentes y control manual de malezas de hoja ancha en postemergencia del cultivo.

A su vez, los ensayos se mantuvieron libres de plagas. En el caso de aves plaga, se utilizaron todas las técnicas disponibles para su control, así como la colocación de redes anti pájaros sobre el perímetro del ensayo. En una etapa final, se aplicó repelente para pájaros (Avipel).

En el Cuadro 4, se presenta el manejo que se realizó durante el transcurso del ensayo.

Cuadro 4. Manejo realizado en el ensayo.

| | FECHA | |
|--|---------|---|
| SIEMBRA TEÓRICA | 10-Mayo | |
| SIEMBRA REAL | 3-Jun | |
| HERBICIDA | 3-Jun | 3 L ha ⁻¹ de Trifluralina + 3 L ha ⁻¹ de Glifosato Sal Potásica |
| EMERGENCIA | 16-Jun | |
| FERTILIZACIÓN A LA SIEMBRA | 8-Jun | 48 kg N ha ⁻¹ ; 69 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ ; 60 kg K ha ⁻¹ ; 24 kg S ha ⁻¹ |
| FERTILIZACIÓN ROSETA, (6 a 8 HOJAS DESARROLLADAS, aprox 12 cm) | | No se realizó, no fue necesario |
| GRAMINICIDA | 30-Jun | 0,6 cc ha ⁻¹ de Holxyfop-P-Methyl + 0,5 cc ha ⁻¹ de Ésteres metílicos de ácidos grasos de origen vegetal |
| INSECTICIDA | 15-Ago | 0.12 L ha ⁻¹ Alsystin (triflumuron) + 0.8 L ha ⁻¹ (Rizospray) Ésteres metílicos de ácidos grasos de origen vegetal |
| FERTILIZACIÓN ENLONGACIÓN DE TALLO | 15-Ago | 16.8 kg N ha ⁻¹ ; 19.2 kg S ha ⁻¹ |
| INSECTICIDA | 1-Set | 0.12 L ha ⁻¹ Alsystin (triflumuron) + 0.2 g ha ⁻¹ Primor (pirimicarb) + 0.5 L ha ⁻¹ (Rizospray) Ésteres metílicos de ácidos grasos de origen vegetal |
| FUNGICIDA EN <i>Brassica napus</i> | 7-Set | 1.2 L ha ⁻¹ Swing Plus (metconazole + epoxiconazole) |
| FUNGICIDA EN <i>Brassica carinata</i> | 18-Set | 1.2 L ha ⁻¹ Swing Plus (metconazole + epoxiconazole) |
| CORTE <i>Brassica napus</i> cv. Rivette | 29-Nov | |
| COSECHA* | 5-Dic | |

* El total de las parcelas se cosecharon de forma directa (5-Dic), excepto las parcelas de Rivette que se cosecharon de manera estacionaria previo corte de las mismas (29-Nov).

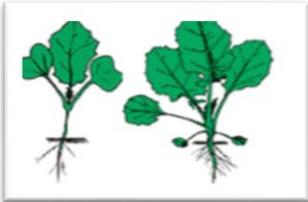
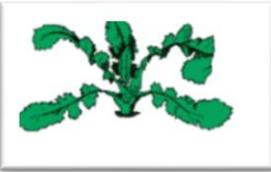
4.4- Determinaciones realizadas

4.4.1- Determinaciones durante el ciclo del cultivo

Brassica carinata, es un cultivo recientemente estudiado, no existe una escala fenológica específica para esta especie. La escala de CETIOM (*Centre*

Technique Interprofessionnel des Oléagineux), utilizada para describir los estados fenológicos de la Colza, se utilizó para describir los estados fenológicos de *Brassica carinata* ya que Colza posee grandes similitudes durante todo el ciclo de crecimiento con la especie estudiada. Es una de las más conocidas y utilizadas en el mundo (Cuadro 5), originaria de Francia.

Cuadro 5. Estados fenológicos de la familia *Brassica*, escala de CETIOM (adaptado de CETIOM, 2008).

| ESTADO | DESCRIPCIÓN |
|--|--|
| <p>Estado A – Cotiledonar</p>  | <p>Sin hojas verdaderas visibles, sólo se pueden apreciar los dos cotiledones con forma acorazonada.</p> |
| <p>Estado B- Formación de Roseta</p>  | <p>Aparición de las primeras hojas verdaderas.</p> <p>B1- Una hoja verdadera desplegada</p> <p>B2- Dos hojas verdaderas desplegadas</p> <p>B3- Tres hojas verdaderas desplegadas</p> <p>Bn- n hojas verdaderas desplegadas</p> |
| <p>Estado C- Elongación</p>  | <p>C1- Aumento de la vegetación. Aparición de hojas jóvenes</p> <p>C2- Entrenudos visibles. Estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos pecíolos</p> |
| <p>Estado D- Yemas unidas</p>  | <p>D1- Yemas unidas, cubiertas por hojas terminales</p> <p>D2- Inflorescencia principal a la vista, aun con yemas unidas. Inflorescencia secundaria visible</p> |

| | |
|--|--|
| <p>Estado E- Yemas separadas</p>  | <p>Los pedúnculos florales periféricos comienzan a alargarse</p> |
| <p>Estado F- Floración</p>  | <p>F1- Primeras flores abiertas F2- Alargamiento del pedicelo. Numerosas flores abiertas</p> |
| <p>Estado G- Formación de silicuas</p>  | <p>G1- Caída de los primeros pétalos. Las 10 primeras silicuas tienen una longitud menor a 2 cm. Comienza la floración de las inflorescencias secundarias G2- Las 10 primeras silicuas tienen una longitud de entre 2 y 4 cm G3- Las 10 primeras silicuas tienen una longitud superior a 4 cm G4- Las 10 primeras silicuas comienzan a madurar G5- Granos coloreados</p> |

Se registró la fecha de emergencia del ensayo (50% de las plantas emergidas), evolución de población de plantas (conteo de cuatro tramos por parcela de 1,5 m lineales, realizados el 04-Jul, 04-Ago y 5-Dic, en el mismo lugar de la parcela, reportado en plantas m⁻²), cobertura del suelo al estado de roseta mediante la App Canopeo (%), temperatura de la canopia (°C) medido a través de termómetro infrarrojo (Marca: MIKRON®, Modelo: MI N-14, Serie 3618) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) al estado de

inicio de elongación de tallo. El índice de vegetación de diferencia normalizada es medido a través del *GreenSeeker* (Marca: TRIMBLE®, Modelo: HANDHELD CROP SENSOR) un sensor de mano que consiste de un sensor óptico de luz activa y es utilizado para medir biomasa y salud de las plantas (Proain, 2018). También se registró la fecha de inicio y mitad de floración (10% y 50% de floración respectivamente), y de madurez fisiológica, calculándose el ciclo en días desde emergencia a cada uno de estos estadios, presencia de enfermedades, altura de planta (desde el suelo hasta las silicuas superiores, en m) e inserción de primera silicua (m), vuelco de plantas en precosecha (escala de 0 a 5; 0 sin vuelco, 5 totalmente volcado), rendimiento en grano (kg ha^{-1}) y estimación de pérdidas de grano por dehiscencia en precosecha y postcosecha (kg ha^{-1}).

La evaluación sanitaria de los genotipos se realizó en parcelas de observación sembradas para tal fin el mismo día del ensayo, y sin aplicación de fungicidas. Las evaluaciones se realizaron en dos ocasiones, al comienzo de floración de genotipos de *Brassica carinata*, y durante el llenado de grano. Se registró severidad de enfermedades expresadas como porcentaje (%) de área foliar afectada.

Para la estimación de pérdidas de grano precosecha, a fin de floración se colocaron dos bandejas de 32,5 cm de largo x 11,5 cm de ancho x 7,5 cm de alto (claramente identificadas con un número) por parcela en dos de las tres repeticiones para coleccionar el grano que cayó por dehiscencia natural de las silicua. Se realizó conteo semanal en llenado de grano, vaciándose en cada conteo las bandejas y coleccionando el grano.

4.4.2- Determinaciones realizadas en postcosecha

El área total de cada parcela fue cosechada en forma directa, para la determinación de rendimiento en grano del ensayo. Se colocaron dos bandejas por parcela en la parte frontal de la cosechadora experimental para la cuantificación de

granos perdidos en la plataforma durante la cosecha, retirándose las mismas antes que la cosechadora continuara avanzando.

La calidad física e industrial del grano, se determinó mediante tres variables, el peso de mil granos (PMG, g), el contenido de aceite (%) y de proteína (%) del mismo. La primera variable se determinó a través del valor promedio de 4 muestras de 100 granos cada una; la segunda se determinó en el Laboratorio de Calidad de Granos de INIA La Estanzuela con un equipo de Resonancia Magnética Nuclear (NMR) calibrado mediante el uso de Twisselman como método patrón primario. El % de proteína se determinó por el método de Kjeldhal.

4.5- Modelo y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue Bloques incompletos al azar. A su vez, se utilizaron diferentes modelos estadísticos para su posterior análisis debido a que las variables como NDVI, temperatura de canopia y rendimiento se registraron sólo una vez, mientras que las plantas m^{-2} y cobertura del suelo se registraron varias veces durante el ensayo.

Para determinar si hubo efecto de los genotipos en las variables estudiadas, a priori se consideró un nivel de significancia de $P < 0,05$. Las diferencias de medias entre cultivares se identificaron por el test de Mínima Diferencias Significativas (MDS).

4.5.1- Modelo para datos con una sola medición en el tiempo (M1)

Variables: NDVI, temperatura de la canopia y rendimiento

$$(M1) Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \beta(\gamma)_{jk} + e_{ijk}$$

Siendo μ , α , γ , $\beta(\gamma)$, y e , la media, los cultivares, las repeticiones, los bloques anidados dentro de repeticiones y el error, respectivamente.

Y = variable dependiente

$i = 1, 2, 3, \dots, 15$

$j = 1, 2, 3$

$k = 1, 2, 3$

El análisis de resultados se realizó por el procedimiento estadístico *PROC MIXED* utilizando el programa SAS versión 9.4 (SAS® Institute, Cary, Carolina del Norte. EE.UU.).

4.5.2- Modelo para datos con medidas repetidas en el tiempo (M2)

Variables: Plantas m^{-2} y cobertura vegetal (canopeo %)

$$(M2) Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \beta(\gamma)_{jk} + \kappa_l + (\alpha\kappa)_{il} + e_{ijk}$$

Donde los términos que se repiten son iguales al modelo anterior (M1), y κ es el efecto del momento (días a partir de emergencia) del registro de la variable de interés.

$l = 1, 2, 3$ para variable Plantas m^{-2}

$l = 1, 2$ para variable cobertura vegetal (canopeo, %)

El análisis de resultados se realizó por el procedimiento estadístico *PROC GLIMMIX* utilizando el programa SAS versión 9.4 (SAS® Institute, Cary, Carolina del Norte. EE.UU.). Se utilizó distribución Poisson con estructura de la covarianza autoregresiva [AR(1)] para la variable número de plantas m^{-2} , y distribución binomial con estructura de la covarianza simétrica compuesta (CS) para la variable cobertura vegetal (canopeo, %).

5- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1- Establecimiento de plantas y evolución de población

Se encontraron diferencias significativas entre genotipos ($p < 0,0001$), entre momentos de conteo ($p < 0,0001$) y la interacción entre genotipos por momento ($p = 0,0016$) fue significativa. Se puede observar que el número de plantas de acuerdo a los primeros dos conteos realizados (04-Jul y 04-Ago) prácticamente no varía para cada genotipo. Las diferencias detectadas entre genotipos, se visualizan principalmente en los EXP 13, 14, 7 y el testigo Rivette, donde el número de plantas fue relativamente menor al resto. A su vez estos genotipos son los que menor variación presentaron entre los conteos iniciales y el conteo realizado en postcosecha (06-Dic), indicando una mayor estabilidad en el stand de plantas, a diferencia de los demás en los cuales se observa una gran disminución en el número de las mismas, posiblemente debido a una mayor competencia entre ellas, prevaleciendo las plantas dominantes. El número final de plantas, exceptuando el EXP 7, se encuentran próximos a las 60-80 plantas m^{-2} . En el promedio de los tres momentos de conteo, el EXP 7 tiene significativamente menor número de plantas (50 pl m^{-2}) que el resto de los genotipos ($p < 0,0001$), aunque esto no parecería haber influido en su rendimiento en grano (5.034 kg ha^{-1}).

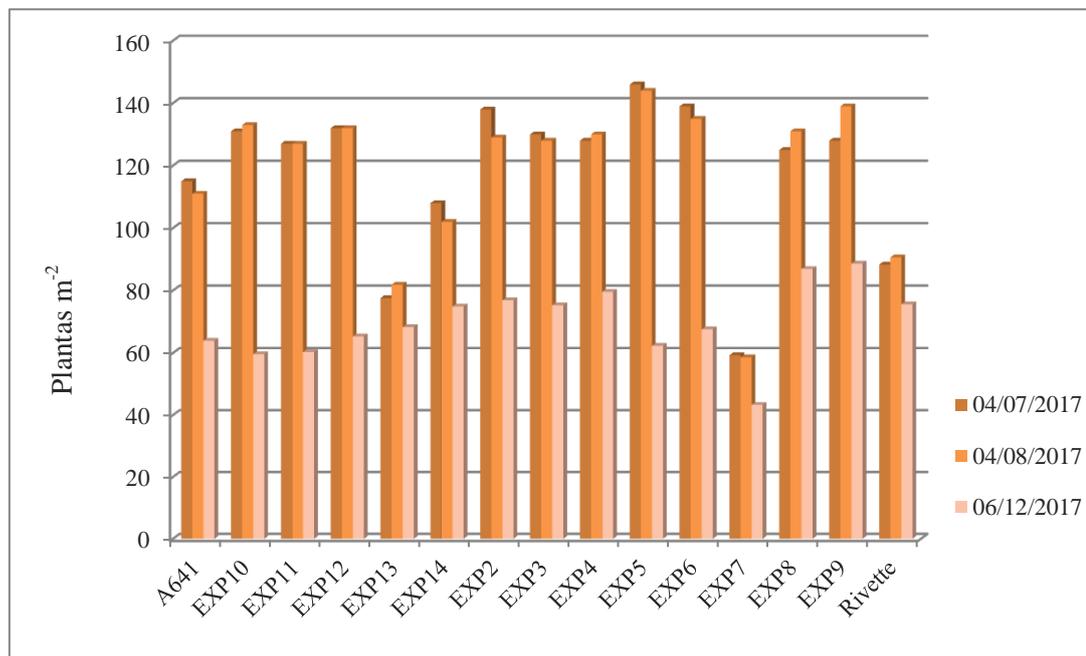


Figura 2. Evolución y conteo de plantas de los genotipos realizados el 04-Jul-2017, 04-Ago-2017 y 06-Dic-2017, expresados en plantas m⁻².

La presencia de un menor número de plantas no estaría correlacionada con un menor rendimiento (Cuadro 10). Como lo indica la bibliografía en otra especie del género *Brassica*, hay una escasa respuesta a la población lograda; entre 30-100 pl m⁻² no habría grandes diferencias en rendimientos en grano (Mazzilli, 2018).

Por otra parte, la densidad de plantas es un factor incidente en el manejo del cultivo. Una mayor densidad puede llevar a que los tallos de las plantas sean más finos facilitando la cosecha directa además de así tener un mejor control de malezas por competencia en los estados iniciales del cultivo. El objetivo de lograr tallos finos también puede generar grandes problemas de vuelco. Debido a esto se ha ido disminuyendo levemente la densidad de siembra, intentando controlar este inconveniente y llegar a un equilibrio. A su vez, se encontró una correlación positiva y significativa ($r= 0,78$; $p<0,0001$) entre número de plantas iniciales y mortalidad de plantas, es decir, genotipos con mayor número de plantas iniciales presentaron una mayor mortalidad (Cuadro 6). Por lo tanto, no sería conveniente sembrar a altas

densidades que generen un mayor gasto en recursos (semilla, fertilizante, etc.) para plantas que no llegan al final del ciclo.

Cuadro 6. Plantas iniciales y finales, y porcentaje de mortalidad de plantas.

| | Plantas iniciales (PI) | Plantas finales (PF) | PI-PF | MORT % |
|---------|---------------------------|-------------------------|-------|--------|
| EXP13 | 78 | 68 | 10 | 12,8 |
| RIVETTE | 88 | 76 | 12 | 16,6 |
| EXP7 | 59 | 43 | 16 | 27,1 |
| EXP8 | 125 | 87 | 38 | 30,4 |
| EXP8 | 128 | 89 | 39 | 30,5 |
| EXP14 | 108 | 75 | 33 | 30,6 |
| EXP4 | 128 | 80 | 48 | 37,5 |
| EXP3 | 130 | 75 | 55 | 42,3 |
| EXP2 | 138 | 77 | 61 | 44,2 |
| A641 | 115 | 64 | 51 | 44,3 |
| EXP12 | 132 | 65 | 67 | 50,7 |
| EXP6 | 139 | 68 | 71 | 51,1 |
| EXP11 | 127 | 60 | 67 | 52,7 |
| EXP10 | 131 | 60 | 71 | 54,2 |
| EXP5 | 146 | 62 | 84 | 57,5 |

Como información complementaria al conteo de plantas, se obtuvieron los siguientes datos mediante el uso de la App Canopeo, mostrando la cobertura del suelo (%) por parte de los genotipos en las fechas 4-Jul y 4-Ago.



Figura 3. Cobertura del suelo por parte de plantas realizado el 04-Jul-2017 y 04-Ago-2017, mediante App Canopeo.

En la figura 3, se aprecian algunas diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el cubrimiento del suelo al estado de roseta (04-Jul), con datos menores como los EXP 13 y 7, y mayores como el EXP 5, lo que puede correlacionarse con las diferencias encontradas en el conteo de plantas expresado en la figura 2. Al momento de la elongación de tallo (04-Ago) todos los cultivares cubrían gran parte del suelo superando el 80%, sin diferencias significativas entre ellos, con una mínima diferencia presentada por los EXP 13 y 7 los cuales mantienen valores menores como en la etapa inicial del cultivo.

Dado a que el coeficiente de correlación de Pearson entre conteo de plantas m^{-2} y el porcentaje de cobertura del suelo, mostró resultados significativos en las fechas 04-Jul ($r=0,75319$; $p=0,0012$) y 04-Ago ($r=0,83319$; $p=0,0001$), se podría sustituir el método de conteo manual de plantas, el cual es muy laborioso y demanda tiempo y desgaste físico, por la utilización de la App Canopeo (<http://canopeoapp.com/#/login>).

Un factor muy importante para lograr buenos resultados fue el laboreo convencional previo a la siembra, el cual permitió un buen contacto semilla-suelo,

obteniendo una correcta implantación y establecimiento de plantas. La cantidad de plantas logradas a la emergencia fue disminuyendo a lo largo del ciclo, ubicándose cerca del rango que indica la bibliografía (80-130 pl m⁻²) pero obteniendo a cosecha un número menor a las 117 pl m⁻² planteadas como objetivo, dada la competencia por recursos (luz, agua, nutrientes) que se da entre plantas. Los rendimientos obtenidos muestran que este menor número final de plantas, no influyó sobre el mismo.

5.2- Características fisiológicas

5.2.1- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Según los datos registrados el 04-Ago, se observaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el NDVI en distintos genotipos con respecto a los testigos. Los EXP 3, 4, 6, 7, 8, 12 y 13 presentaron diferencias significativas con el testigo A641 ($p = 0,0004$, $p = 0,0413$, $p = 0,0133$, $p < 0,0001$, $p = 0,0330$, $p = 0,0068$ y $p < 0,0001$, respectivamente). A su vez el testigo Rivette presentó diferencias con los EXP 3, 5, 10, 11, 12, 13 y 14; ($p < 0,0001$, $p = 0,0022$, $p = 0,0007$, $p = 0,0078$, $p < 0,0001$, $p = 0,0070$, $p = 0,0289$ respectivamente). Hubo también diferencias entre los testigos ($p = 0,0328$).

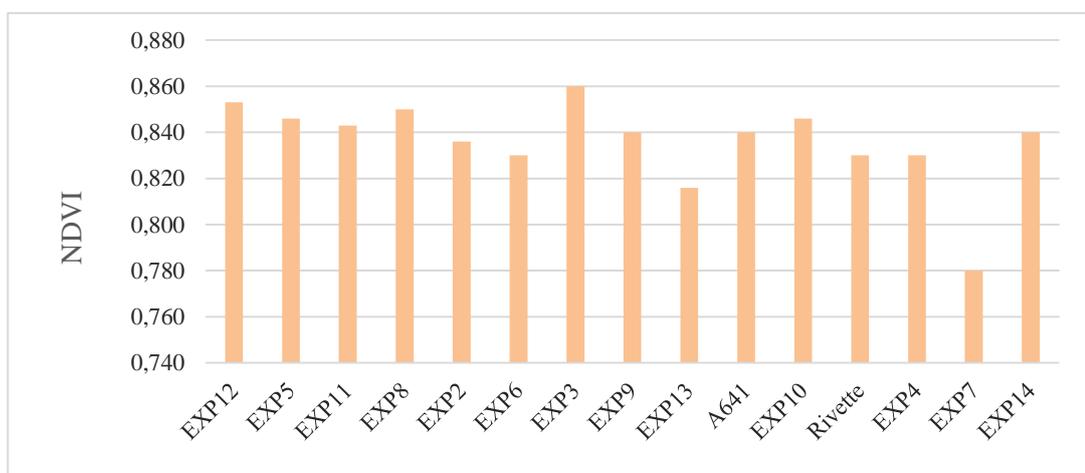


Figura 4. Índice de vegetación de diferencia normalizada, medida a través del *Greenseeker*. Se encontraron diferencias significativas entre cultivares ($p < 0,0001$).

Estos datos registrados al estado de inicio de elongación de tallo, que muestran una superioridad en el NDVI por parte de la mayoría de los genotipos estudiados de *Brassica carinata*, indicarían un desarrollo más rápido y exuberante de materia verde, posibilitando una mayor intercepción de radiación solar (Ferrerres et al., citado por Márquez, 2008) y mayor tasa fotosintética (Tayo y Morgan, citado por Márquez, 2008).

Además, se observó una correlación significativa y positiva entre el conteo de plantas y el NDVI en el momento en el cual éste fue medido ($r=0,80400$; $p<0,0003$); mostrando que cuando el número de plantas fue mayor, se obtuvo un mayor NDVI.

5.3.2- Temperatura de canopia

Para mantener una elevada tasa de fotosíntesis, las plantas deben mantener una elevada conductancia estomática, fijando carbono y evapotranspirando agua. Esta evapotranspiración hace que la temperatura de las hojas de las plantas sea menor que la temperatura del aire. La temperatura de la canopia es un buen indicador de la adaptación de un genotipo a un determinado ambiente de crecimiento, y en algunas especies como trigo se ha demostrado que tiene una alta correlación negativa con rendimiento en grano, especialmente en ambientes con estrés abiótico (Reynolds et al, 2001).

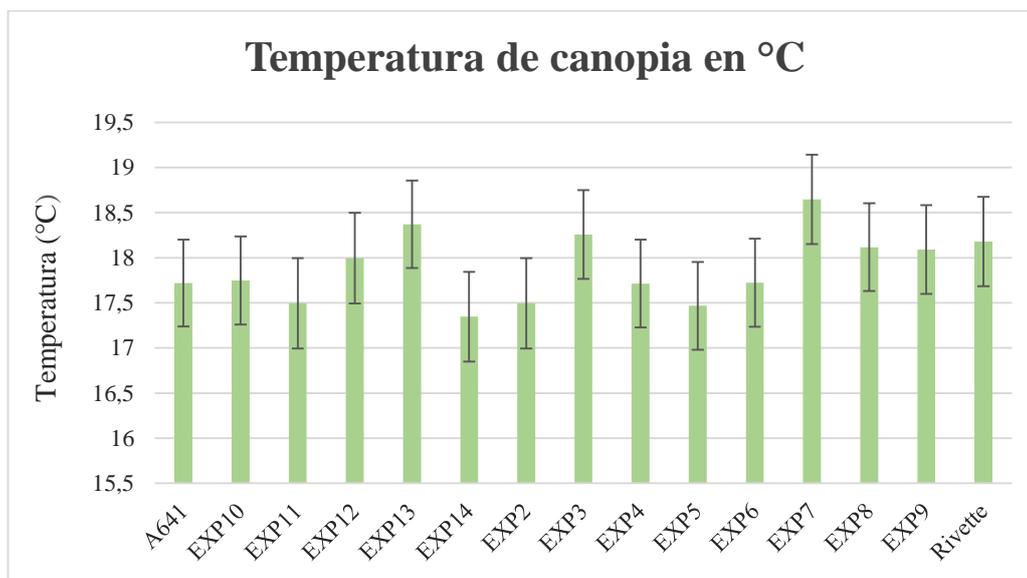


Figura 5. Temperatura de la canopia (°C) de los distintos genotipos medida el 4-ago.

La temperatura de la canopia al estado de roseta no fue estadísticamente significativas entre genotipos ($p=0,6394$). En las condiciones del experimento, esta variable no serviría para realizar una selección indirecta por genotipos de mayor rendimiento en grano. La temperatura promedio de la canopia fue $17\pm 0,18$ °C.

5.3- Características Agronómicas

5.3.1- Ciclo del cultivo

Para determinar el ciclo del cultivo, se registraron fechas en diferentes momentos del ciclo, días desde emergencia (16 de junio 2017) a comienzos de floración (10% de floración), a 50 % de floración, y a madurez fisiológica, los cuales se detallan en el cuadro 7 y figura 6.

Cuadro 7. Fechas de comienzo de floración (10%), 50% de floración y madurez fisiológica para cada genotipo de *Brassica carinata* evaluados en La Estanzuela, en el año 2017.

| Cultivar | 10 % Flor | 50 % Flor | Madurez Fisiológica |
|----------|-----------|-----------|---------------------|
| EXP12 | 14-Sep-17 | 30-Sep-17 | 21-Nov-17 |
| EXP5 | 11-Sep-17 | 30-Sep-17 | 21-Nov-17 |
| EXP11 | 11-Sep-17 | 30-Sep-17 | 19-Nov-17 |
| EXP8 | 11-Sep-17 | 30-Sep-17 | 17-Nov-17 |
| EXP2 | 14-Sep-17 | 30-Sep-17 | 17-Nov-17 |
| EXP6 | 06-Sep-17 | 30-Sep-17 | 17-Nov-17 |
| EXP3 | 11-Sep-17 | 30-Sep-17 | 17-Nov-17 |
| EXP9 | 10-Sep-17 | 30-Sep-17 | 14-Nov-17 |
| EXP13 | 14-Sep-17 | 30-Sep-17 | 17-Nov-17 |
| A641 | 10-Sep-17 | 30-Sep-17 | 13-Nov-17 |
| EXP10 | 10-Sep-17 | 30-Sep-17 | 10-Nov-17 |
| RIVETTE | 15-Aug-17 | 30-Aug-17 | 11-Nov-17 |
| EXP4 | 11-Sep-17 | 30-Sep-17 | 21-Nov-17 |
| EXP7 | 18-Sep-17 | 30-Sep-17 | 21-Nov-17 |
| EXP14 | 11-Sep-17 | 30-Sep-17 | 21-Nov-17 |

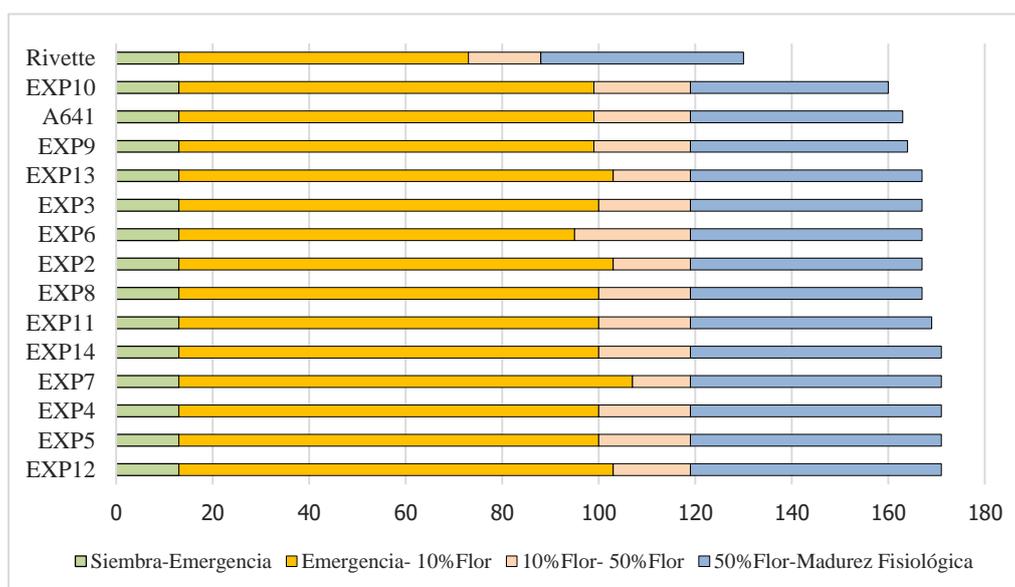


Figura 6. Ciclo en días desde la emergencia a comienzos de floración, a 50 % de floración y a madurez fisiológica para cada genotipo de *Brassica carinata* evaluados en La Estanzuela, en el año 2017.

Con respecto al ciclo, en la figura anterior (Figura 6) se puede observar una gran similitud en los materiales experimentales de *Brassica carinata*, estos genotipos registraron una misma fecha en la emergencia del cultivo y al momento de alcanzar el 50% de floración, lo cual dio un mismo número en días (106) desde la emergencia hasta el 50% de floración.

Sí se encontraron algunas diferencias en la composición de este período, de emergencia a 10% floración, la mayoría de los genotipos llegaron a 10% floración entre el 10-Set y 14-Set, con excepciones del EXP 6 y el EXP 7, para los cuales las fechas fueron el 06-Set y 18-Set respectivamente, determinando que la menor duración del período emergencia - 10% floración sea la del EXP 6 y la mayor la del EXP 7. Lo contrario ocurrió en el periodo 10% floración – 50% floración, el cual fue mayor para el EXP 6 y menor para el 7 (24 y 12 días). El período 50% floración – madurez fisiológica fue más uniforme, presentando alguna diferencia en días, todos los cultivares llegaron a su madurez fisiológica entre el 10-Nov y 21-Nov. El EXP 10 fue el que primero la alcanzó, lo cual llevó a que este genotipo sea el de ciclo más corto tomando en cuenta desde la emergencia hasta la madurez fisiológica, con una duración de 160 días. Los de ciclo más largo fueron los EXP 14, 7, 4, 5 y 12 con una duración de 171 días.

En comparación con el testigo *Brassica napus*, se observa una mayor variación en la duración del ciclo. Entre la emergencia (misma fecha que *Brassica carinata*) y el 10% de floración, este cultivar presentó una duración de 60 días, a diferencia de los cultivares de *Brassica carinata* que tuvieron un promedio de 88 días de duración. Esta fase fue la que determinó que el testigo Rivette presente un ciclo más precoz, la cual fue de 130 días desde la siembra a la madurez fisiológica. Los demás periodos registrados, 10% floración – 50% floración y 50% floración – madurez fisiológica no fueron tan diferentes, siendo semejantes a los de *Brassica carinata*.

Comparando los testigos, el cultivar Avanza 641 presentó un ciclo de 163 días, 33 días mayor al ciclo del testigo Rivette. Al igual que en los genotipos experimentales, las mayores diferencias se observan en el periodo emergencia - 10% floración. Este mayor largo de ciclo de *Brassica carinata* se adapta a información registrada en Estados Unidos, la cual dice que el ciclo de la misma tiene un rango de 180-200 días (Seepaul et al., 2019).

En resumen, todos los genotipos de *Brassica carinata* presentan mayor largo de ciclo con respecto a *Brassica napus* cv Rivette. Según Martino y Ponce de León (1999), una mayor duración de ciclo puede determinar mayores rendimientos. Por otra parte, esta mayor duración de ciclo de la especie en estudio, puede representar cierta dificultad en la adecuación de estos genotipos a la rotación anual con cultivos de verano, por ejemplo, precediendo al cultivo de soja.

En trabajos realizados en siembras de mediados de mayo en los años 2014, 2015 y 2016 en INIA (Castro et al. 2015, 2016, 2017), se registraron datos promedio del ciclo de cultivo de Colza en La Estanzuela desde la emergencia a 50% flor, con una duración de 88, 91 y 107 días respectivamente, y en el caso específico del cultivar Rivette, 82, 86 y 99 días respectivamente. Estos datos se diferencian del testigo de *Brassica napus* de nuestro ensayo sembrado a principios de junio, el cual tuvo una duración de 75 días desde emergencia a 50% flor, y la especie *Brassica carinata* en promedio presentó una duración de 106 días. Como se mencionó anteriormente, esta diferencia de ciclo entre las dos especies en la zafra 2017 pudo haber tenido influencia sobre el rendimiento obtenido.

5.3.2- Altura de planta, inserción primer silicua y vuelco

La altura de la planta no siempre condiciona el vuelco de la misma, sino que también influyen otros factores, tales como la estructura de la planta y capacidad de la misma para resistir al vuelco (Cuadro 8).

Cuadro 8. Altura de planta e inserción de la primera silicua en el tallo principal en los diferentes genotipos de *Brassica carinata* y los testigos.

| Cultivar | Altura Planta (m) | Altura 1er Silicua (m) | Vuelco |
|----------|-------------------|------------------------|--------|
| EXP14 | 1,90 | 1,30 | 2,00 |
| EXP11 | 1,84 | 1,10 | 3,00 |
| EXP7 | 1,82 | 1,20 | 2,50 |
| EXP8 | 1,74 | 1,20 | 3,00 |
| EXP12 | 1,70 | 1,10 | 3,00 |
| EXP4 | 1,70 | 1,20 | 4,50 |
| EXP10 | 1,66 | 1,00 | 4,50 |
| EXP13 | 1,62 | 1,20 | 2,00 |
| EXP2 | 1,60 | 1,00 | 3,50 |
| EXP6 | 1,60 | 1,20 | 3,50 |
| EXP3 | 1,58 | 1,20 | 2,50 |
| EXP9 | 1,58 | 1,00 | 3,00 |
| EXP5 | 1,50 | 1,00 | 3,50 |
| A641 | 1,48 | 1,00 | 3,50 |
| RIVETTE | 1,26 | 0,80 | 4,00 |

Escala de vuelco 0 (sin vuelco) a 5 (100% vuelco).

Altura de planta: desde el suelo hasta las silicuas superiores.

Brassica carinata tuvo en promedio 1,67 m de altura, siendo superior a los 1,26 m de *Brassica napus* y a los 1,20-1,50 m descritos por Seepaul et al. (2019). Además, fue superior a los datos registrados por INIA en Colza, la cual tuvo en promedio una altura de 1,38 m en los años 2014, 2015, 2016 y 2017. A su vez, la altura de la primera silicua también fue mayor en *Brassica carinata*, observándose a los 1,1 m a diferencia de los 0,80 m del testigo Rivette y promedio de 0,88 m en Colza de los ensayos de los años precedentes (Castro et al. 2014, 2015, 2016, 2017).

En cuanto al vuelco de las plantas, hubo genotipos que fueron más propensos al vuelco; el EXP 4, el EXP 10 y el testigo Rivette los cuales presentaron

valores de 4,5, 4,5 y 4,0 respectivamente. El vuelco de las plantas generó dificultades durante la cosecha.

Las condiciones climáticas del año en cuanto a excesos hídricos habrían propiciado un anclaje deficiente de las raíces que hizo que las plantas fueran más propensas al vuelco en general.

5.4- Evaluación de enfermedades

En el cuadro 8 se presentan las enfermedades registradas durante el ciclo del cultivo, representando su comportamiento sanitario.

Cuadro 9. Comportamiento sanitario de los genotipos experimentales y testigos, evaluado en parcelas sin aplicación de fungicidas, en dos fechas: 12-Set y 16-Oct.

| CULTIVAR | LE | | | | |
|----------|-----------|-------|-----------|------|-----|
| | 12-Set-17 | | 16-Oct-17 | | |
| | EF | MF | EF | BACT | RB |
| A641 | PF | 0 | LLG | 0,5 | 0,5 |
| EXP2 | PF | 0,5 M | LLG | 0,5 | 0,5 |
| EXP3 | PF | 0 | FF LLG | 0 | 2 |
| EXP4 | PF | 0,5 M | FF LLG | 0 | 0,5 |
| EXP5 | PF | 5 M | LLG | 0 | 0,5 |
| EXP6 | 20% F | 20 M | LLG | 0 | 3 |
| EXP7 | BF | 8 M | FF LLG | 5 | 0,5 |
| EXP8 | PF | 5 M | FF LLG | 0,5 | 0,5 |
| EXP9 | BF | 15 M | LLG | 0 | 0,5 |
| EXP10 | PF | 5 M | FF LLG | 0 | 0,5 |
| EXP11 | PF | 5 M | FF LLG | 0 | 0,5 |
| EXP12 | PF | 8 M | FF LLG | 0 | 0,5 |
| EXP13 | PF | 2 M | LLG | 0 | 0,5 |
| EXP14 | PF | 10 M | LLG | 0,5 | 0,5 |
| RIVETTE | FF | 5 M | LLG | 10 | 0,5 |
| Promedio | | 5,9 | | 1,1 | 0,8 |

EF: estado fenológico; BF: botón floral, PF: principio floración, F: floración, FF: fin de floración, LLG: llenado de grano. MF: mancha foliar; M: Mildiu (*Hyaloperonospora parasítica*); BACT: Bacteriosis (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*); RB: roya blanca (*Albugo candida*). Severidad de enfermedades expresadas en % de área foliar afectada.

En general, la incidencia de enfermedades fue baja en todos los genotipos, registrándose niveles mayores de incidencia de manchas foliares en los EXP 6, 9 y 14 al principio de floración.

La presencia de bacteriosis en los diferentes genotipos fue prácticamente despreciable, observándose una mayor presencia en el EXP 7 junto con el testigo Rivette, no alcanzando niveles significantes.

La baja presencia de enfermedades, se puede deber a que la especie *Brassica carinata* presenta una mayor tolerancia o resistencia a enfermedades que comúnmente atacan a las *Brassicas* (Agrisoma, 2015).

5.5- Rendimiento en grano

En el cuadro 9 se expresan los rendimientos de los distintos genotipos, comparados porcentualmente con respecto a Rivette.

Cuadro 10. Rendimiento de los genotipos, comparados porcentualmente.

| GENOTIPOS | % | RENDIMIENTO (kg ha⁻¹) |
|---|----------|---|
| EXP3 | 499 | 5936 |
| A641 | 460 | 5359 |
| EXP12 | 435 | 5173 |
| EXP7 | 423 | 5034 |
| EXP11 | 417 | 4965 |
| EXP13 | 399 | 4746 |
| EXP10 | 397 | 4723 |
| EXP2 | 380 | 4525 |
| EXP5 | 377 | 4483 |
| EXP9 | 373 | 4433 |
| EXP6 | 371 | 4417 |
| EXP14 | 347 | 4129 |
| EXP4 | 322 | 3826 |
| EXP8 | 309 | 3674 |
| RIVETTE | 100 | 1190 |
| Significancia de genotipos *** | | |
| MDS (kg ha ⁻¹) | | 1270 |
| Media del ensayo (kg ha ⁻¹) | | 4441 |
| Coef. de variación (%) | | 16,8 |
| CME | | 555832 |

Significancia: *** ($p=0,0002$).

En el presente trabajo, los rendimientos de *Brassica carinata* obtenidos fueron en promedio de 4.673 kg ha⁻¹, superando ampliamente los 1.190 kg ha⁻¹ del testigo Rivette. Este rendimiento en *Brassica napus* fue inferior a los obtenidos en estudios realizados por INIA en La Estanzuela en años anteriores (Castro et al. 2015, 2016, 2017), con un promedio de 4.088 kg ha⁻¹. En comparación con los ensayos realizados en *Brassica carinata* en años previos, se obtuvo un mayor rendimiento que los años 2014 y 2016, (2.763 kg ha⁻¹ y 3.602 kg ha⁻¹ respectivamente), y por debajo de los 5.068 kg ha⁻¹ del año 2015 (Castro, 2018).

Los resultados experimentales pueden no evidenciar los resultados que se obtuvieron a nivel de campo, ya que la cosecha en los genotipos de *Brassica carinata* se realizó cuidadosamente para evitar las pérdidas de grano y en el estado fenológico adecuado para la misma. No ocurrió así en el testigo de *Brassica napus* Rivette, en la cual el método de cosecha utilizado (cosecha estacionaria) y momento pudo haber llevado a pérdidas de grano mayores a las normales.

En la figura 7 se aprecia una considerable superioridad entre los rendimientos de los genotipos de *Brassica carinata* en comparación con el testigo *Brassica napus*. A su vez se observan diferencias entre los genotipos de *Brassica carinata* y el testigo de esta misma especie A641 (5359 kg ha⁻¹), siendo los de menor rendimiento los EXP 4 y 8 (3826 y 3674 kg ha⁻¹ respectivamente). A pesar de no presentar una diferencia estadística significativa con el testigo, el EXP 3 se destaca por obtener el mayor rendimiento, próximo a los 6000 kg ha⁻¹.

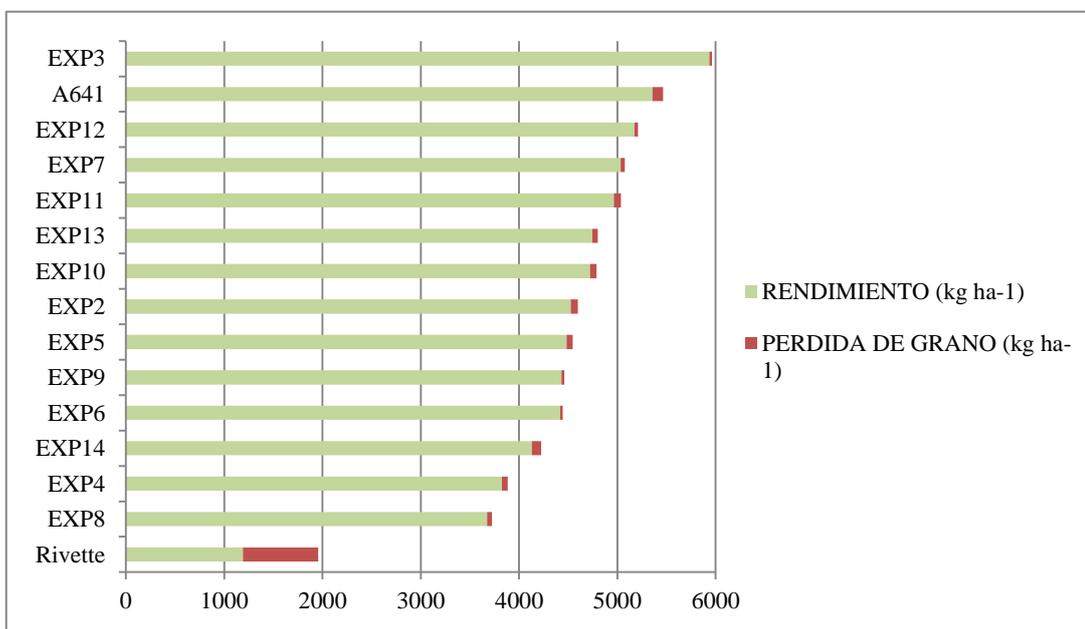


Figura 7. Rendimiento alcanzable de los genotipos.

De acuerdo a los rendimientos alcanzables, que refiere a la suma del rendimiento obtenido más las pérdidas de grano durante la cosecha, se mantiene la supremacía por parte de la especie *Brassica carinata*, y al mismo tiempo se conserva el orden de rendimiento en grano de los materiales, con variaciones mínimas entre rendimiento en grano y rendimiento alcanzable. El testigo Rivette fue el que mayores diferencias presentó entre rendimiento en grano y rendimiento alcanzable, debido a las grandes pérdidas de grano que se obtuvieron durante el ciclo del cultivo, y en la cosecha del mismo como se explicará en la siguiente sección.

No se observa una correlación entre rendimiento y el número de plantas (cuadro 10), lo que puede deberse a la plasticidad de las mismas para adaptarse a la disponibilidad de espacio y nutrientes. Por ejemplo, el EXP 7 presentó significativamente menor número de plantas en las tres fechas de conteo, pero esto no pareció influir en su rendimiento final.

Cuadro 11. Coeficientes de Correlación de Pearson entre rendimiento y NDVI, TEMP, C1, C2, PLM1, PLM2, PLM3 y probabilidad.

| | NDVI | TEMP | C1 | C2 | PLM1 | PLM2 | PLM3 |
|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| R | 0,10661 | -0,01325 | 0,17352 | 0,10441 | 0,21057 | 0,16102 | -0,37603 |
| P | 0,7053 | 0,9626 | 0,5363 | 0,7112 | 0,4513 | 0,5665 | 0,1672 |

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada; TEMP: temperatura de la canopia; C1: canopeo (04-Jul); C2: canopeo (04-Ago); PLM1: conteo de plantas (04-Jul); PLM2: conteo de plantas (04-Ago); PLM3: conteo de plantas (06-Dic); r: Coeficiente de Correlación de Pearson ; P: probabilidad.

Se observa una tendencia, aunque no significativa a obtener mayores rendimientos cuando las plantas logradas finales son menores, como se observa en la figura 8. Esto podría deberse a plantas que, aunque en menos cantidad, presenten una mayor capacidad de ramificación y desarrollo de silicuas.

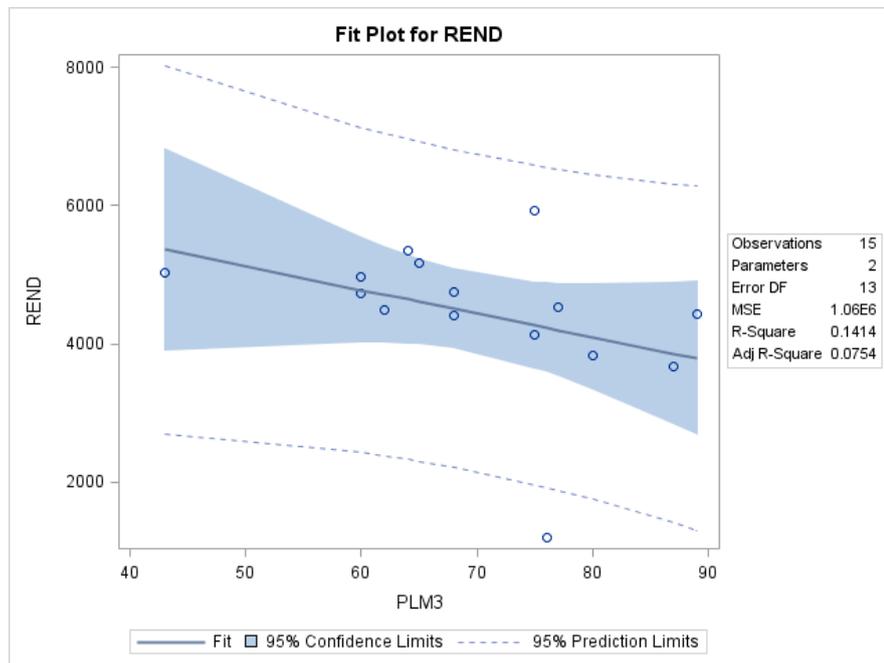


Figura 8. Relación entre rendimiento y plantas finales logradas.

5.6- Pérdida de grano

La figura 9 corresponde a las pérdidas de grano durante el ciclo del cultivo, por dehiscencia y pérdidas en la cosecha. La dehiscencia de la silicua del testigo Rivette (763 kg ha^{-1}) es claramente superior a todos los genotipos de *Brassica carinata* evaluados, inclusive al testigo Avanza 641; mientras que la variación entre los diferentes genotipos de la especie evaluada es relativamente baja, comprendiendo valores entre 27 kg ha^{-1} a 97 kg ha^{-1} , y el testigo de la misma tuvo una dehiscencia levemente superior llegando a los $104,5 \text{ kg ha}^{-1}$.

En la mayoría de los genotipos, el único momento de pérdida de grano fue a la cosecha, a diferencia del testigo Rivette, en el cual los primeros datos de dehiscencia se registraron en fechas muy tempranas del ciclo del cultivo, el 13 de octubre, y algunos genotipos de *Brassica carinata* como lo son el testigo Avanza 641 y los EXP 10 y 14 presentaron pérdidas de grano el día 4 de diciembre (un día previo a la cosecha).

En el caso de Rivette, se cortaron las plantas el 29-Nov y se trillaron mediante cosecha estacionaria el 5-Dic al igual que el resto, lo que podría haber llevado a pérdidas mayores de lo esperado en ese momento por manipuleo experimental.

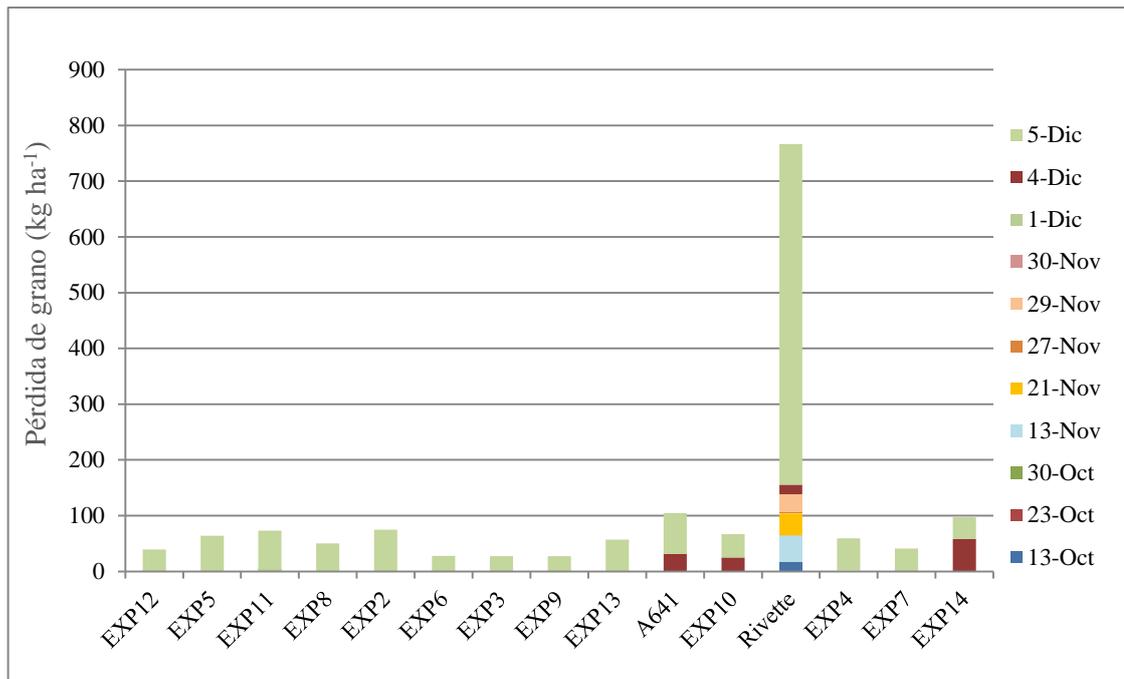


Figura 9. Pérdida de grano, por dehiscencia de las silicuas durante el ciclo del cultivo, y pérdidas en la cosecha (05-Dic).

Como se mencionó anteriormente, el testigo Rivette presentó una dehiscencia natural anticipada y temprana en el ciclo (13-Oct), lo cual no ocurre con los genotipos de *Brassica carinata*. Debido a ello, existen dos métodos de cosecha; hilerado previo del cultivo o la aplicación de productos químicos desecantes (cosecha directa) para homogeneizar el cultivo con el objetivo de reducir las pérdidas en cosecha. Actualmente, en la Unión Europea se ha prohibido el uso de alguno de estos productos, por ser altamente tóxicos (The New York Times, 2016). Esto podría presentar una gran dificultad al momento de la cosecha de *Brassica napus*, debido a que las pérdidas serían aún mayores e inevitables. Desde este punto de vista, *Brassica carinata* se presenta como una opción interesante, debido a que la mayoría de los genotipos en estudio no presentaron dehiscencia natural temprano en su ciclo y

se podría tener la posibilidad de cosechar directamente con menores pérdidas de grano, coincidiendo con la bibliografía consultada (Agrisoma, 2015).

5.7- Relación entre rendimiento y dehiscencia

El EXP 3 que presentó el mayor rendimiento fue el que menor pérdida de grano tuvo. Al mismo tiempo, el testigo Rivette que fue el de menor rendimiento fue el que presentó las mayores pérdidas de grano. Igualmente no se observó una regresión entre los distintos materiales ($r=0,7054$).

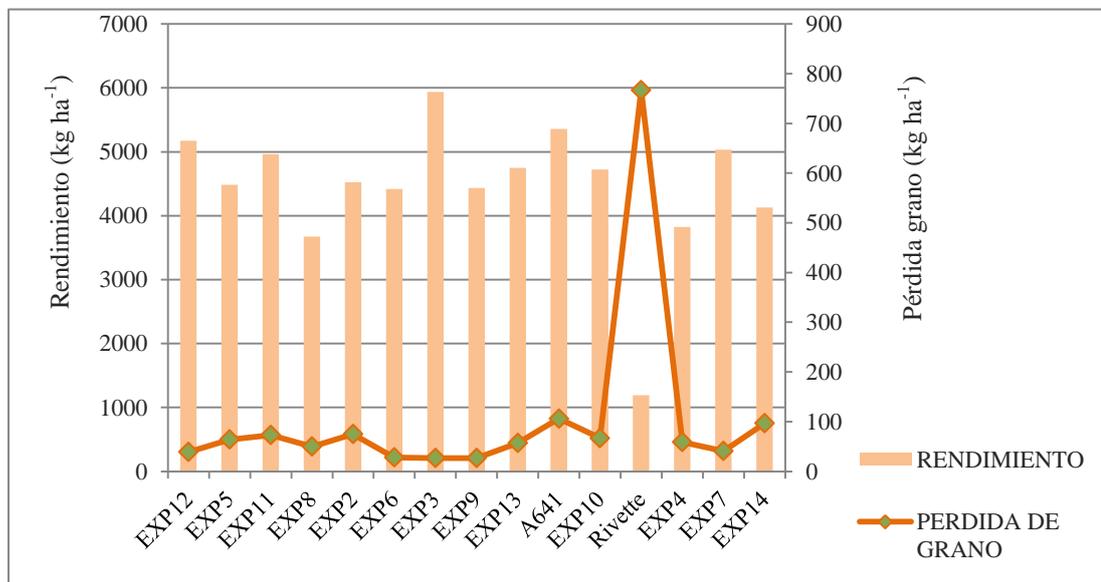


Figura 10. Relación entre el rendimiento en grano de los materiales experimentales y testigos, con la pérdida de granos por dehiscencia durante el ciclo del cultivo y la cosecha.

5.8- Calidad de grano

A continuación, en el cuadro 11 se detallan los resultados obtenidos de la evaluación de calidad física e industrial del grano, como lo son el contenido de aceite (%), contenido de proteína (%) y el peso de mil granos (PMG).

Cuadro 12. Resultados de evaluación de calidad de grano, expresados en contenido de aceite (%), contenido de proteína (%) y peso de mil granos (g).

| CULT | Aceite (%) | Proteína (%) | PMG (g) |
|-------------|-------------------|---------------------|----------------|
| A641 | 45,7 | 22,0 | 4,33 |
| EXP10 | 45,3 | 21,3 | 4,31 |
| EXP11 | 47,3 | 22,8 | 4,34 |
| EXP12 | 46,5 | 22,2 | 4,22 |
| EXP13 | 45,0 | 22,5 | 3,54 |
| EXP14 | 45,3 | 23,3 | 3,99 |
| EXP2 | 43,9 | 23,1 | 4,35 |
| EXP3 | 44,2 | 20,7 | 4,12 |
| EXP4 | 42,8 | 24,3 | 4,45 |
| EXP5 | 43,5 | 24,7 | 4,75 |
| EXP6 | 44,5 | 24,2 | 4,47 |
| EXP7 | 46,3 | 22,4 | 4,68 |
| EXP8 | 45,9 | 23,6 | 3,7 |
| EXP9 | 46,1 | 21,9 | 3,96 |
| RIVETTE | 40,7 | 24,0 | 4,82 |

Los datos registrados del PMG fueron relativamente altos. Los genotipos de *Brassica carinata* tuvieron en promedio un peso de 4,23 gramos (Cuadro 11) siendo notoriamente superiores a los 2,9-3,2 gramos que indica la bibliografía (Seepaul et al, 2019). También presentaron un peso superior a los datos registrados en los ensayos en Colza en La Estanzuela de los años 2014, 2015 y 2016 donde se obtuvo un PMG de 3,32 gramos en promedio (Castro et al. 2015, 2016, 2017). De todos modos, esta superioridad de la especie no se vio reflejada con el testigo Rivette en nuestro ensayo, el cual presentó el mayor peso con 4,82 g, tal vez debido a su bajo rendimiento que permitió destinar más nutrientes a menor cantidad de granos.

Obtener un mayor PMG puede haber influido sobre los contenidos de aceite de la semilla; esto se ve reflejado por ejemplo en Rivette que registró el mayor PMG

pero el contenido de aceite fue el menor (40,7%). Esto también se puede deber a que la especie *Brassica napus* presente en general un menor contenido de aceite respecto a *Brassica carinata*.

Lograr niveles muy altos de proteína no es un factor determinante de este cultivo, ya que está negativamente correlacionado con el contenido de aceite de la semilla. Es decir, altos contenidos de proteína llevarían a un menor contenido de aceite (Grami y Stefansson, 1977). En nuestro trabajo la correlación entre estas dos variables no fue significativa ($R=-0,487$), estando muy próxima a serlo. A su vez, no se presentaron grandes diferencias entre cultivares.

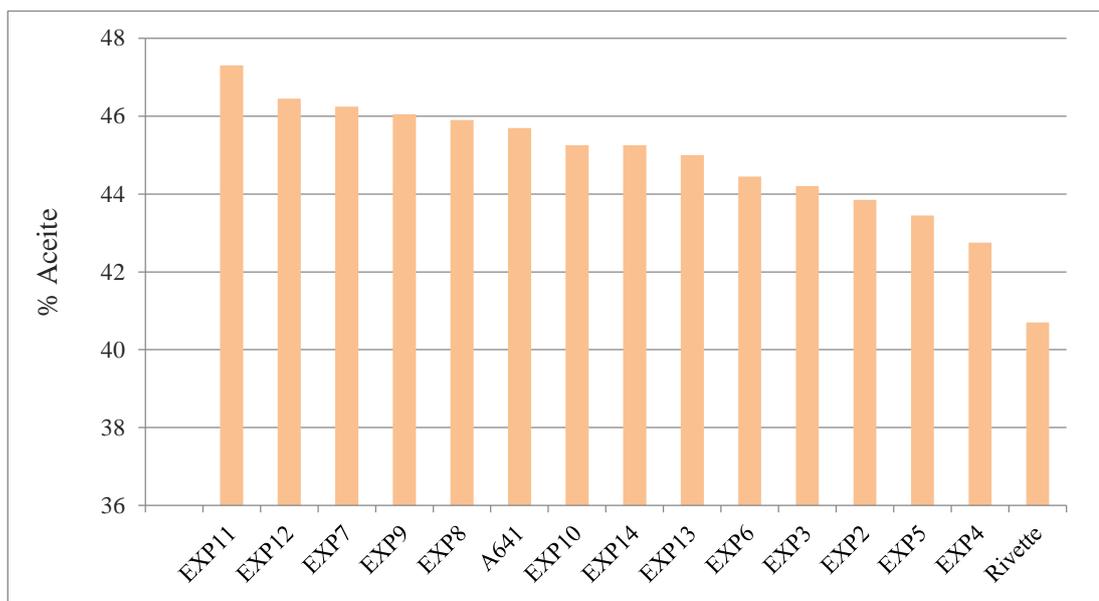


Figura 11. Contenido de aceite en porcentaje de los materiales experimentales de *Brassica carinata* y sus testigos Avanza 641 (A641) y Rivette.

En la figura 11, se puede observar una clara diferencia en el contenido de aceite entre las dos especies de *Brassica*. Los EXP y el testigo A641 (*Brassica carinata*) presentaron contenidos de aceite entre 42 y 48%, a diferencia del testigo Rivette (*Brassica napus*) cuyo contenido de aceite no superó el 41%. Dentro de los genotipos de *Brassica carinata* se destaca el EXP 11, obteniendo aproximadamente un 2% más que el testigo A641.

El contenido de aceite promedio de los genotipos de *Brassica carinata* fue de 45,1%, asimilándose a los datos de los ensayos del año 2015 y 2016 (45,3% y 47,5%) y superando el 37,4% del año 2014 (Castro, 2018).

La información registrada, se ajusta a lo mencionado por Seepaul et al. (2019), que establecen que *Brassica carinata* presenta contenidos de aceite superiores a las demás *Brassicas*, superando el 40%.

Esto es un factor de gran interés para la producción de biocombustibles, ya que los contenidos de aceite son mayores en el grano de *Brassica carinata*.

6- CONCLUSIONES

En las condiciones de este experimento, se pudo concluir que *Brassica carinata* presenta ventajas con respecto a *Brassica napus*, en características de suma importancia para alcanzar una rentabilidad aceptable como lo son el mayor rendimiento en grano y en aceite, y la menor dehiscencia natural de grano, confirmando la información obtenida en años anteriores en INIA. Además, presenta la posibilidad de cosecha directa facilitando el manejo y reduciendo costos operativos.

Dentro de la especie *Brassica carinata*, el testigo comercial Avanza 641 sigue siendo un cultivar con vigencia presentando un buen desempeño, respecto del cual los materiales experimentales no evidenciaron diferencias significativas. Sin embargo, se pudo apreciar que existen genotipos promisorios, los cuales podrían superar al testigo comercial; para afirmar esto se debería generar más información en distintos ambientes de crecimiento que muestren su estabilidad y superioridad en el tiempo.

7- BIBLIOGRAFÍA

- ADROVER, J.E; FERREIRA, M.E. 2012. Respuesta a la fertilización con nitrógeno en elongación según nivel nutricional del cultivo de canola (*Brassica napus*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 79 p.
- AGRISOMA. 2015. Resonance Carinata 2015 Production Manual: A Guide to Best Management Practices: US Northern Plains (en línea). Agrisoma Biosciences, Inc., Saskatoon, SK, Canadá. Consultado 25 may. 2017. Disponible en http://agrisoma.com/wp-content/uploads/2015/09/ResonanceCarinataProductionManual2015_Canada.pdf
- AGUIRRE, M; URIARTE, I. 2010. Respuesta del cultivo de colza-canola (*Brassica napus*) a las condiciones físico-químicas del suelo a nivel de chacra. Tesis de grado. Montevideo. Uruguay, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 59 p.
- ALUR. 2016. ALUR lanzó el Plan Comercial Canola 2017 (en línea). Uruguay. Consultado 27 jun. 2017. Disponible en <http://www.alur.com.uy/noticias/lanzamiento-plan-colza-2017/>
- BELTRÁN, M.B. 2017. Diseño de una planta de producción de Diesel Renovable a partir de los efluentes de una planta extractora de aceite de palma. Tesis Ingeniero Químico. Quito. Ecuador. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. 222 p.
- BITTENCOURT, G; REIG LORENZI, N. 2009. La industria de biocombustibles en Uruguay: situación actual y perspectivas (en línea). *Documento de Trabajo/FCS-DE; 11/09*. Consultado 8 jun. 2017. Disponible en <http://www.redsudamericana.org/sites/default/files/doc/Libro%20Biocombustibles%20cap04.pdf>
- BOZZINI, A; CALCAGNO, F; SOARE, T. 2007. “Sincron”, a new *Brassica carinata* cultivar for biodiesel production (en línea). *Helia* 30, N°46: 207-214 p. Consultado 8 jun. 2017. Disponible en [file:///C:/Users/usuario/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/18/\[Helia\]%20SINCRON%20A%20NEW%20Brassica%20carinata%20CULTIVAR%20FOR%20BIO%20DIESEL%20PRODUCTION%20%20SINCRON%20LA%20NUEVA%20VARIEDAD%20DE%20BRASS\[2011\].pdf](file:///C:/Users/usuario/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/18/[Helia]%20SINCRON%20A%20NEW%20Brassica%20carinata%20CULTIVAR%20FOR%20BIO%20DIESEL%20PRODUCTION%20%20SINCRON%20LA%20NUEVA%20VARIEDAD%20DE%20BRASS[2011].pdf)

- CÁRDENAS, G.J. 2011. Matriz energética argentina: situación actual y posibilidades de diversificación (en línea). Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario, 9: 32-36. Consultado 26 may. 2017. Disponible en <http://www.eeaoc.org.ar/upload/contenido/pdf/20120228122933000000.pdf>
- CASANOVA, O.1996. Potasio: consideraciones sobre su situación en el Uruguay. *In* Manejo y Fertilidad de suelos. MORÓN, A; MARTINO, D; SAWCHIK, J. (ed). Serie Técnica INIA 76: 57-61.
- CASTRO, M. 2017. Experimental results of *Brassica carinata* genotypes in Uruguay (en línea). *In* *Brassica carinata* Summit 2017, Quincy, University of Florida, USA. Consultado 29 jun. 2017. Disponible en <http://programs.ifas.ufl.edu/media/programsifasufledu/carinata/docs/pdfs/Brassica-carinata-Uruguay.pdf>
- CASTRO, M. 2018. ¿Puede *Brassica carinata*, una nueva oleaginosa de invierno, contribuir a la diversificación del sistema agrícola?. En: Mesa Tecnológica de Oleaginosas, (7, 2018, Montevideo, Uruguay). http://7moencuentro.mto.org.uy/wp-content/uploads/2018/08/Presentaci%C3%B3n-Marina-Castro_15.08.2018.pdf
- CASTRO, M; VERA, M; LOZA, W; VAZQUEZ, D; STEWART, S; CASTRO, B. 2015. Evaluación de Cultivares de Colza Primavera. *In* Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de Cultivares de Colza. Período 2014. Convenio INASE-INIA. INIA La Estanzuela, p. 7-14. http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2014/PubColzaPeriodo2014.pdf
- CASTRO, M; VERA, M; LOZA, W; MANASLISKI, S; VAZQUEZ, D; STEWART, S; CASTRO, B. 2016. Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de Cultivares de Colza. Período 2015. Convenio INASE-INIA. INIA La Estanzuela, p. 9. http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2015/PubColzaPeriodo2015.pdf
- CASTRO, M; VERA, M; MANASLISKI, S; VAZQUEZ, D; STEWART, S; PEREYRA, S; CASTRO, B. 2017. Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de Cultivares de Colza. Período 2016 Convenio INASE-INIA. INIA La Estanzuela p. 9 http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CI/Ano2016/PubColzaPeriodo2016.pdf
- DE LEMOS, R.M; ROTT, M.A; VILLAS BÔAS, R.M; DE JESUS, C; BALBINO, L.C. 1996. Doenças de canola no Paraná. IAPAR, Boletim técnico N°51.

- DIEA. 2018. (Dirección de Investigación Estadísticas Agropecuarias). Encuesta Agrícola: Invierno 2018. Montevideo: MGAP, DIEA. 36 p. (Serie Encuestas). Serie Encuestas N° 353.
- DOMICIANO, N.L; SANTOS, B. 1996. Pragas da canola: Bases preliminares para manejo no Paraná. IAPAR, Boletim técnico N°120.
- DORADO, M. 2001. Desarrollo y ensayo de nuevos biocombustibles para motores diesel procedentes de diversas semillas oleaginosas y de grasas vegetales usadas. Tesis de doctorado. Córdoba. Argentina, Universidad de Córdoba. 303 p.
- FERNANDEZ, M; MATTOS, I; SILVA, A. 2015. efecto de la desuniformidad de siembra sobre el rendimiento de colza – canola. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 54 p.
- FORMENTO, Á. 2014. Manual de enfermedades de Colza (*Brassica napus*). Santa Fe, Argentina. INTA. 77 p.
- FRANCE. CENTRE TECHNIQUE INTER PROFESSIONNEL DES OLEAGINEUX METROPOLITAINS, 2008. Escala fenológica de la Colza. <http://www.terresinovia.fr/Colza/cultiver-du-Colza/atouts-rendez-vous/stades-reperes/>
- GÓMEZ, D.P. 2010. Suramérica y la seguridad energética: una visión a la luz del sistema político internacional. Revista Dikaion 19 (1): 195-217.
- GÓMEZ, J.M. 2016. Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina (en línea). Estudios Gerenciales 32. Consultado 8 jun. 2017. Disponible en http://ac.els-cdn.com/S0123592316300018/1-s2.0-S0123592316300018-main.pdf?_tid=16f22240-91ba-11e7-a3d8-00000aab0f6c&acdnat=1504561589_fdac4d4c33a57c76df8033f236b6add8
- GRAMI, B; STEFANSSON, B.R. 1977. Gene action for protein and oil content in summer rape (en línea). Can J. Plant Sci. 57: 625-631. Consultado 22 ago. 2018. Disponible en <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/cjps77-092>
- GRDC. (Grains Research & Development Corporation). 2009. Canola best practice management guide for south-eastern Australia (en línea). Consultado el 30 de jul. 2018. Disponible en <file:///F:/TESIS/PDF%20info/Colza%20Guide.pdf>
- IFAPA. (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, España). 2009. Guía del cultivo de la Colza (en línea). Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <file:///F:/TESIS/PDF%20info/IFAPA,%202009.pdf>

- IPNI. (International Plant Nutrition Institute). 2013. 4R Colza Nutrition Guide. Canola Technology Update: Nutrient Management. Vol 1. 21 p.
- LÓPEZ, J.H. 2008. Geopolítica del petróleo y crisis mundial. Revista Dyna 75 (156): 1-7.
- MALHI, S.S; LEACH, D. 2002. Optimizing yield and quality of canola seed with balanced fertilization in the parkland zone of Western Canada. En: Soils and Crops Workshop (8, 2002, Saskatoon, Canadá). <https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/9766/S.S.%20Malhi%20and%20D.%20Leach%2c%202002b.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MALLARINO, A.P. 1995. Comparison of Mehlich-3, Olsen, and Bray-P1 procedures for Phosphorus in calcareous soils. En: North Central Extension-Industry, Soil Fertility Conference, (25°, 1995, Manhattan, Estados Unidos) <http://www.agronext.iastate.edu/soilfertility/info/ComparisonofMehlich-3OlsenandBray-P1Procedures.pdf>
- MARQUEZ, A. 2008. Mejora genética del contenido en glucosinolatos en semillas de mostaza etíope (*Brassica carinata* A. Braun). Tesis Doctoral. Córdoba. Argentina. Universidad de Córdoba. 143 p.
- MARTINO, D.L; PONCE DE LEÓN, F. 1999. Canola: una alternativa promisoría. *In* Canola: una alternativa promisoría. Serie Técnica INIA 105: 1-7.
- MAZZILLI, S.R; ELIZARZÚ, A; LOCATELLI, A. 2014. Desarrollo tecnológico de la colza en Uruguay. Anales. Simposio Latinoamericano de Colza. (1, 2014, Passo Fundo, Brasil). Brasilia, Brasil, DF: Embrapa, 2014.
- MAZZILLI, S. 2018. Conocimiento actual y desafíos para el desarrollo de Oleaginosas de invierno en Uruguay. En: Mesa Tecnológica de Oleaginosas (7, 2018, Montevideo, Uruguay). http://7moencuentro.mto.org.uy/wp-content/uploads/2018/08/Presentaci%C3%B3n-Sebasti%C3%A1n-Mazzilli_15.08.2018.pdf
- MIEM. (Ministerio de Industria, Energía y Minería). 2017. Método para remover glucosinolatos de harinas oleaginosas. 62/262,032.
- MIEM. DNE. (Ministerio de Industria, Energía y Minería. Dirección Nacional de Energía, UY). 2016. Balance energético 2016: Serie histórica 1965-2016. Montevideo. 69 p.
- OBREGÓN, S. 2016. Estudio del contenido y valor nutracéutico de los glucosinolatos y otros compuestos presentes en nabizas y grelos (*Brassica*

- rapa L. var. rapa) cultivados en el sur de España. Tesis Doctoral. Córdoba, España. Universidad de Córdoba. 340 p.
- PEREA, C.F; DÍAZ, L.E; CERDEIRAS, J.I. 1992. Primera constatación de enfermedades fungosas de la Colza (*Brassica napus* var. *oleífera*) en el Uruguay. XXV Congreso Brasileiro de Fitopatología, Gramado, Brasil.
- PONCE DE LEÓN, F; MARTINO, D.L; DÍAZ LAGO, J.E. 1999. Agronomía de la Canola. *In* Canola: una alternativa promisorio. Serie Técnica INIA 105: 35-38.
- POUZET, A. 1995. Brassica oilseeds. Production and Utilization. *In* Canola: una alternativa promisorio. MORÓN, A; MARTINO, D; SAWCHIK, J. (ed). Serie Técnica INIA 105: 24-34
- PRESIDENCIA. 2017. Encuesta Agrícola Primavera 2016. Consultado 27 jun. 2017. Disponible en <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/encuesta-agricola-primavera-2016>
- PROAIN. 2018. Consultado 30 Jun. 2017. Disponible en: file:///D:/TESIS/PDF%20info/Ficha_Medidor_de_Nitrogeno.pdf
- RAZO, C; ASTETE-MILLER, S; SAUCEDO, A; LUDEÑA, C. 2007. Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina (en línea). Desarrollo Productivo N° 178. Consultado 25 may. 2017. Disponible en <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/4573>
- REYNOLDS, M.P; NAGARAJAM, S; RAZZAQUE, M.A; AGEEB, O.A.A. 2001. Heat tolerance. *In* Reynolds, MP; JI Ortiz-Monasterio and A McNab (eds.). Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F.: CIMMYT. p 124-135.
- SALINAS, E; GASCA, V. 2009. Los biocombustibles (en línea). La crisis energética, El Cotidiano N° 157: pp 75-82. Consultado 26 may. 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/325/32512739009/>
- SEEPAL, R; SMALL, I.M.; MULVANEY, M.J.; GEORGE, S.; LEON, R.G.; PAULA-MORAES, S.V.; GELLER, D.; MAROIS, J.J. and WRIGHT, D.L. 2019. Carinata, the Sustainable Crop for a Bio-based Economy: 2018–2019 Production Recommendations for the Southeastern United States. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/ag389>. Consultado el 2 de may. 2017.

- SERRANO, M. 2016. Estudio de la influencia de las materias primas en la producción y propiedades de biodiesel como combustible. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid. 393 p.
- UPM. 2019. Guía de manejo *Brassica carinata*. 68 p. ZERNER, M., WHEELER, R. 2013. Clethodim tolerance in canola. Hart Trial Results 2013. Disponible en: http://www.hartfieldsite.org.au/media/2013%20TRIAL%20RESULTS/17_Clethodim_tolerance_in_canola_2013HartTrialResultsBook.pdf (Consultado 9/4/2019).
- TAHERZADEH, M.J; KARIMI, K. 2008. Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *International Journal of Molecular Science* 9: 1621-1651.
- THE NEW YORK TIMES. 2016. Uncertain Harvest, This pesticide is prohibited in Britain. Why is it being exported? (en línea). Estados Unidos. Consultado 22 ago. 2018. Disponible en <https://www.nytimes.com/2016/12/20/business/paraquat-weed-killer-pesticide.html>

8- ANEXOS

8.1- ANEXO N°1. Fotografías del experimento



Fotografía N°1. Siembra de parcelas experimentales, 03-Jun-2017.



Fotografía N°2. Cultivo con cuatro hojas desarrolladas, momento de primer conteo de plantas y utilización de app Canopeo 04-Jul-2017.



Fotografía N°3. Cultivo en estado de elongación de tallo, 04-Ago-2017.



Fotografías N°4 y 5. Mediciones de NDVI y temperatura de canopia (°C), respectivamente; realizados el 04-Ago- 2017.



Fotografía N°6. Cultivo a fin de floración, con red anti pájaros ya colocada.



Fotografías N° 7 y 8. Evaluación de enfermedades a fin de floración, 16-Oct-2017.



Fotografía N° 9. Colocación de bandejas a fin de floración, para estimar pérdidas de grano por dehiscencia natural de silicuas.



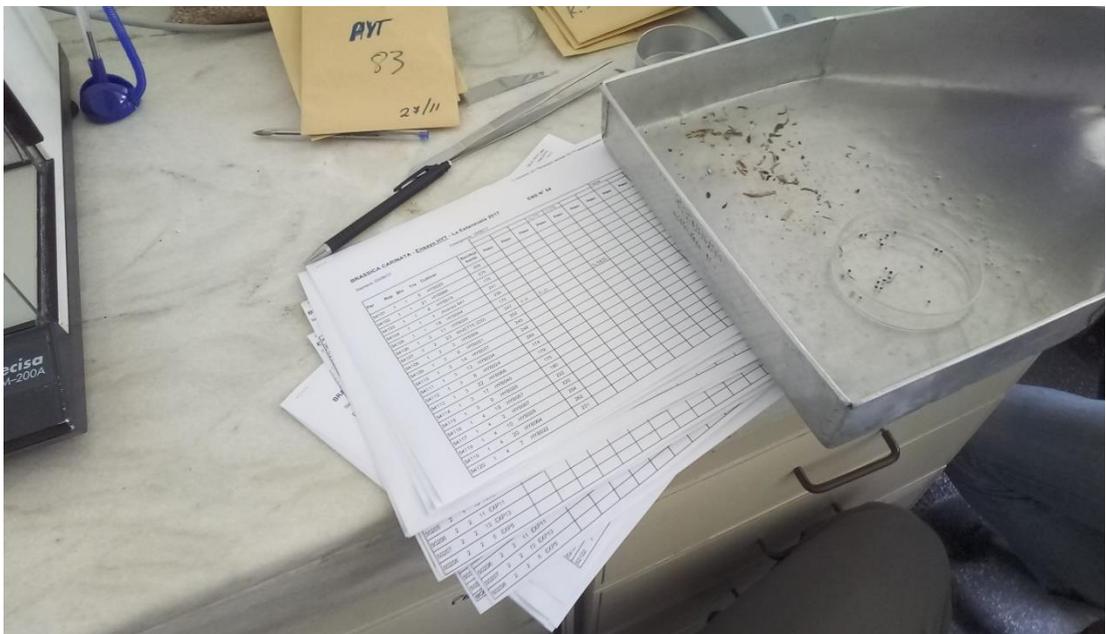
Fotografía N° 10. Cosecha de parcelas experimentales, 05-Dic-2017.



Fotografía N° 11. Recolección de bandejas postcosecha, 05-Dic-2017.



Fotografía N° 12. Grano cosechado, correctamente identificado por parcela, 05-Dic-2017.



Fotografía N° 13. Acondicionamiento de granos recolectados de bandejas y posterior pesaje en balanza de precisión.

8.2- ANEXO N°2. Tablas de análisis de varianza de las diferentes variables medidas durante el tiempo en el que se estableció el ensayo

8.2.1- Testigo Rivette versus materiales experimentales de *Brassica carinata* y su testigo Avanza 641

| | C1 | C2 | TEMP | NDVI | PLM1 | PLM2 | PLM3 | REND |
|------------------|---------|--------|------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Rivette vs A641 | n.s | 0,0247 | n.s | 0,0328 | 0,0411 | n.s | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP2 | n.s | 0,0116 | n.s | n.s | 0,0005 | 0,005 | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP3 | 0,0434 | n.s | n.s | <0,0001 | 0,0023 | 0,0061 | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP4 | n.s | 0,0176 | n.s | n.s | 0,0037 | 0,0047 | n.s | 0,0004 |
| Rivette vs EXP5 | <0,0001 | 0,0001 | n.s | 0,0022 | <0,0001 | 0,0002 | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP6 | n.s | n.s | n.s | n.s | 0,0004 | 0,0017 | n.s | 0,0001 |
| Rivette vs EXP7 | 0,0149 | 0,0006 | n.s | <0,0001 | 0,01 | 0,0049 | 0,0016 | <0,0001 |
| Rivette vs EXP8 | n.s | n.s | n.s | 0,0002 | 0,0072 | 0,0036 | n.s | 0,0007 |
| Rivette vs EXP9 | n.s | n.s | n.s | n.s | 0,0037 | 0,0008 | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP10 | n.s | 0,0093 | n.s | 0,0007 | 0,0019 | 0,0026 | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP11 | n.s | 0,0035 | n.s | 0,0078 | 0,0049 | 0,0083 | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP12 | 0,0174 | 0,001 | n.s | <0,0001 | 0,0018 | 0,003 | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP13 | n.s | n.s | n.s | 0,007 | n.s | n.s | n.s | <0,0001 |
| Rivette vs EXP14 | n.s | 0,0171 | n.s | 0,0289 | n.s | n.s | n.s | 0,0001 |

C1: canopeo (04-Jul); C2: canopeo (04-Ago); TEMP: temperatura de la canopia; NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada; PLM1: conteo de plantas (04-Jul); PLM2: conteo de plantas (04-Ago); PLM3: conteo de plantas (06-Dic); r: Coeficiente de Correlación de Pearson ; P: probabilidad.

8.2.2- Variables con una sola medición en el tiempo (Inicio de elongación de tallo)

Test tipo 3 de efectos fijos de variables NDVI, Temperatura canopia (°C) y rendimiento para el efecto de los genotipos evaluados

| Variable | GL numerador | GL denominador | Valor F | Pr>F |
|---------------------|--------------|----------------|---------|---------|
| NDVI | 14 | 22 | 34,53 | <0,0001 |
| Temperatura canopia | 14 | 22 | 0,82 | 0,6394 |
| Rendimiento | 14 | 20 | 5,94 | 0,0002 |

8.2.3- Variables con más de una medición en el tiempo

8.2.3.1- Plantas m⁻² en las fechas 04-Jul, 04-Ago y 6-Dic (Postcosecha)

Test tipo 3 de efectos fijos para los distintos genotipos, fechas y su interacción

| Efecto | GL numerador | GL denominador | Valor F | Pr>F |
|----------------|--------------|----------------|---------|---------|
| Genotipo | 14 | 82 | 5,74 | <0,0001 |
| Fecha | 2 | 82 | 197,43 | <0,0001 |
| Genotipo*Fecha | 28 | 82 | 2,34 | 0,0016 |

8.2.3.2- Canopeo en las fechas 04-Jul y 04-Ago

Test tipo 3 de efectos fijos para los distintos genotipos, fechas y su interacción

| Efecto | GL numerador | GL denominador | Valor F | Pr>F |
|----------------|--------------|----------------|---------|---------|
| Genotipo | 14 | 52 | 7,19 | <0,0001 |
| Fecha | 1 | 52 | 4891,80 | <0,0001 |
| Genotipo*Fecha | 14 | 52 | 6,31 | <0,0001 |