

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA
CALIDAD DEL CULTIVO DE *Brassica carinata* L.

por

Quinberlin IGNACIO DO SANTOS

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2021

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. (Dr.) Sebastián R. Mazzilli

Ing. Agr. Maximiliano Verocai

Ing. Agr. (MSc.) Nicolás Fassana

Fecha: 07 de julio de 2021

Autora: -----
Quinberlin Ignacio do Santos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mis padres por brindarme la oportunidad de realizar una carrera universitaria y apoyarme en todo momento.

Agradezco a mi tutor, Ing. Agr. Sebastián Mazzilli, por ayudarme con este trabajo, por sus correcciones y sugerencias.

A Darío Fros y Federico Domínguez por la ayuda en el trabajo de campo.

Agradezco a todos que de alguna forma u otra contribuyeron en mi formación, compañeros, amigos, familiares.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 GENERALIDADES.....	2
2.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PERFORMANCE DEL CULTIVO.....	3
2.2.1 <u>Temperatura</u>	3
2.2.2 <u>Fotoperíodo</u>	4
2.2.3 <u>Precipitaciones</u>	4
2.2.4 <u>Fecha de siembra</u>	4
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	6
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	8
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZAFRA 2017.....	8
4.1.1 <u>Temperatura</u>	8
4.1.2 <u>Régimen pluviométrico</u>	8
4.1.3 <u>Radiación incidente</u>	9
4.2 RENDIMIENTO Y COMPONENTES.....	10
4.3 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE MATERIA GRASA.....	15
4.4 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS A LO LARGO DEL CICLO DEL CULTIVO.....	15
4.4.1 <u>Suma térmica</u>	15
4.4.2 <u>Precipitaciones acumuladas</u>	18
4.5 RIESGO POTENCIAL DE HELADAS SEGÚN FECHA DE SIEMBRA.....	20
5. <u>CONCLUSIONES</u>	22
6. <u>RESUMEN</u>	23
7. <u>SUMMARY</u>	24

8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	25
9.	<u>ANEXOS</u>	29

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Requerimientos térmicos de los distintos períodos entre estadios fenológicos, según fecha de siembra, para colza (cv. Rivette) y carinata (cv. Avanza 641).....	16
2. Riesgo potencial de heladas en implantación y floración según fecha de siembra y cultivar utilizado.....	21
Figura No.	
1. Localización del experimento.....	6
2. Temperatura media ocurrida durante la zafra 2017 en relación a la media histórica 2002-2016.....	8
3. Precipitaciones ocurridas durante la zafra 2017 en relación a la media histórica 2002-2016.....	9
4. Radiación media diaria durante la zafra 2017 en relación a la media histórica 2002-2016.....	10
5. Rendimiento en grano de cada material por fecha de siembra.....	11
6. Rendimiento en grano de cada material en función del número de silicuas.....	12
7. Relación entre el rendimiento en grano y los granos por silicua según especie y material.....	13
8. Relación entre el rendimiento en grano y el número de granos (a) y peso de grano (b).....	14
9. Relación entre el índice de cosecha y el rendimiento en grano...	14
10. Porcentaje de materia grasa por material según fecha de siembra	15
11. Requerimientos térmicos, según fecha de siembra, para el período siembra-F1.....	17

12. Suma térmica a floración según material y fecha de siembra....	18
13. Precipitaciones acumuladas para Rivette (izquierda) y Avanza 641 (derecha) por períodos fenológicos y para las distintas fechas de siembra.....	19
14. Relación entre el rendimiento en grano y las precipitaciones recibidas en el período entre F1 y cosecha.....	20

1. INTRODUCCIÓN

La mostaza etíope o carinata (*Brassica carinata L.*) es una oleaginosa invernal que se está introduciendo en el sistema agrícola de Uruguay como una nueva alternativa de cultivo. En el año 2016 se sembraron 3.000 hectáreas y en el año 2018 unas 8.000 hectáreas. El cultivo se realiza para la producción de biocombustible para aviación, lo que determina una alternativa comercial diferente a las actuales. En el país se presenta como una alternativa a los cultivos de invierno tradicionales (cereales) trigo y cebada. Por su largo de ciclo permite la siembra de doble cultivo anual sin perjudicar el esquema de siembra actual.

Al ser un cultivo con buenos rendimientos en biomasa presenta características favorables para competir con malezas y dejar cobertura de suelo para el cultivo de verano siguiente. Al tratarse de un cultivo nuevo en el país y en el mundo, se cuenta con poca información y por tanto es de suma importancia estudiar su comportamiento en las condiciones del Uruguay para mejorar el manejo agronómico del mismo, en especial la fecha de siembra, de manera de hacer coincidir de la mejor manera posible la oferta ambiental con los requerimientos del cultivo.

El objetivo de este trabajo es evaluar la influencia de la fecha de siembra sobre el rendimiento y la calidad del grano del cultivo de carinata bajo condiciones ambientales locales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES

Brassica carinata L. (carinata) es una oleaginosa perteneciente a la familia de las crucíferas nativa de África Oriental (Licata et al., 2017). De sus semillas se extrae aceite no apto para consumo humano por su alto contenido de ácido erúxico (Getinet et al., 1997b), lo que la diferencia de la colza-canola (*Brassica napus* L.), pero sí apto para la producción de biocombustibles de alta energía. El biodiesel producido a partir *B. carinata* tiene propiedades físico-químicas adecuadas para su uso como combustible para automóviles y especialmente como combustibles de alta capacidad energética posibles de ser usados como combustible de aviación (Cardone et al., 2003). En comparación con granos de canola, carinata tiene un tamaño de semilla más grande (Xin et al., 2014) y es conocida por su madurez tardía (Ferrerres y Hiruy, citados por Getinet et al., 1996) ya que, bajo condiciones normales, madura dos o tres semanas más tarde que *B. napus* "Westar" (Getinet et al., 1996) un cultivar de maduración temprana (Klassen et al., 1987).

El cultivo presenta una mejor adaptabilidad a las condiciones de crecimiento subóptimas con respecto a colza. Ha demostrado ser capaz de proporcionar mayores rendimientos en grano que colza en condiciones ambientales desfavorables, como precipitaciones bajas durante el período de llenado de grano y altas temperaturas (Alemaw 1987, Mazzoncini y Angelini 2002), lo cual hace que esta especie parezca ser más adecuada para regiones caracterizadas por disponibilidad de agua limitada e inviernos suaves, donde la colza puede verse limitada por precipitaciones y/o condiciones de vernalización insuficientes (para cultivares invernales de colza, Zanetti et al., 2009), ya que es altamente tolerante al calor y a la sequía (Rakow y Getinet 1998, Pan et al. 2012, Marillia et al. 2014). Otra ventaja que tiene frente a colza, es la menor pérdida de grano en la cosecha por dehiscencia natural de las silicuas lo cual permite realizar una cosecha directa sin necesidad del hilerado (Licata et al. 2017, ICI 2018).

En un experimento realizado en distintos sitios de Canadá, se encontró que la mayor fuente de variación de los rendimientos fue generado por las diferencias entre años, lo que marca la importancia del factor ambiental sobre la performance del cultivo (Pan et al., 2012). Por su parte, Licata et al. (2017) estudiando el comportamiento agronómico de carinata en Italia encontraron que el factor año determinó variaciones altamente significativas para la mayoría de los parámetros morfológicos. En un estudio realizado en el centro Oeste de Minnesota, Estados Unidos, durante 2013 y 2014, Gesch et al. (2015) encontraron que carinata fue la última especie en madurar, produjo la biomasa más alta, y tendía a tener bajos índices de cosecha lo que combinado podría resultar en un rendimiento en semilla no tan alto cuando se la compara con las demás especies del experimento: *Brassica napus* L., *Brassica rapa* L. *Brassica juncea* L., *Sinapis alba* L. y *Camelina sativa* (L.) Crantz.

Los resultados muestran que el índice de cosecha y la duración de la floración no están relacionados con el rendimiento en grano, mientras que el índice de cosecha tiene una relación negativa con la biomasa total (Neelam et al., 1994). Por otra parte, debido al alto grado de capacidad compensatoria el rendimiento máximo puede alcanzarse con una población de 34 a 114 plantas m² (Pan et al., 2012). Con respecto al contenido de aceite, una evaluación agronómica preliminar, sugirió que el contenido de aceite varía entre los cultivares y genotipos y su semilla relativamente grande puede contener entre 26 y 40 % de aceite (Getinet, citado por Pan et al., 2012).

2.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PERFORMANCE DEL CULTIVO

2.2.1 Temperatura

En general, para la especie *Brassica spp.*, la capacidad de crecimiento y rendimiento parece estar condicionada no sólo por las temperaturas que prevalecen al momento de la siembra sino también la presente en varios estados fenológicos (Saran y Giri, 1987). En su centro de origen, el rango de temperatura a la que está expuesta durante el período de crecimiento es de 14-18 °C (Getinet et al., 1994). Es sensible a las bajas temperaturas desde la germinación hasta el estado de roseta, luego formada la roseta puede soportar temperaturas hasta -15 °C (Falasca y Ulberich, 2010). Según estos autores en zonas más frías la siembra debe realizarse lo más temprano posible para que la planta esté bien desarrollada al momento que lleguen las heladas. Según Getinet y Nigussie (1997a), para las *Brassicac*s en general, heladas intensas en la noche y aire muy seco durante el día pueden matar a las plantas. En zonas con riesgo de heladas con temperaturas menores a -4 °C se recomienda no sembrarla (ESCAN, 2008).

Saran y Giri (1987) realizando un experimento a campo en el Noroeste de India encontraron que las temperaturas más altas que prevalecen durante el período de crecimiento vegetativo en las fechas tempranas de la siembra mejoraron la etapa de iniciación floral, mientras que las bajas temperaturas en fechas de siembra tardías retrasan la floración. Temperaturas muy altas durante la floración no favorecen la formación de grano ya que acortan el ciclo (Falasca y Ulberich, 2010). En un estudio realizado por Pan et al. (2012) en Canadá, queda en evidencia que temperaturas relativamente bajas en la etapa de llenado de grano tiende a aumentar el contenido de aceite en el grano mientras que tiene efecto inverso con el contenido de proteína. Según Getinet y Nigussie (1997a) temperaturas muy altas durante el desarrollo del grano pueden reducir el rendimiento y el contenido de aceite del grano para todas las *Brassicac*s. No obstante, Mulvaney et al. (2019) afirman que la mayor parte de la información generada en estudios previos en carinata, indican que la concentración y composición del aceite tienden a ser más estables que el rendimiento en grano.

2.2.2 Fotoperíodo

Nanda et al. (1996) en un experimento a campo con cuatro especies de *Brassicas*, incluida carinata, encontraron que todas las especies florecieron antes con el aumento de la duración del día (lo que deja en evidencia que responden al fotoperíodo) y con una mayor sensibilidad entre el fotoperíodo de 12 y 14 horas. La producción de grano en general se encontró directamente relacionada con la biomasa, días a floración y número de vainas en ramas primarias y secundarias, por lo que cualquier cambio provocado en estos parámetros por el fotoperíodo afecta la productividad (Neelam et al., 1994).

2.2.3 Precipitaciones

El cultivo de carinata presenta un buen crecimiento cuando las precipitaciones en el período de crecimiento son superiores a 600 milímetros con una distribución uniforme en dicho período (Getinet y Nigussie, 1997a). En su centro de origen las precipitaciones promedian 600-900 milímetros en el período de crecimiento que dura aproximadamente 180 días (Getinet et al., 1994). El déficit hídrico durante las primeras etapas de crecimiento puede conducir a la marchitez y finalmente a la muerte de las plantas (Husen et al., 2014).

Falasca y Ulberich (2010) en un experimento en distintos lugares en Argentina encontraron que el cultivo se beneficiaba de las lluvias primaverales durante la floración y el cuajado de los frutos. Por otra parte, Milazzo et al. (2013) afirman que carinata logra mayores rendimientos de grano que el cultivo de colza en condiciones de pocas precipitaciones y altas temperaturas en el período de llenado de grano.

2.2.4 Fecha de siembra

En general, se reconoce para cada especie de *Brassica sp.* y ambiente de producción un rango de fechas de siembra en el cual se obtiene mejores resultados productivos (Saran y Giri 1987, Kumar et al. 2008). Nanda et al. (1996) encontraron que independientemente de la fecha de siembra, carinata fue la especie que siempre tardo más en completar su ciclo comparativamente con otras especies de *Brassicas*, aunque se observó en todas las especies estudiadas un acortamiento en la duración del ciclo a medida que se atrasan las fechas de siembra, explicado por una disminución de la duración de la etapa desde emergencia de la plántula hasta floración. En general los cultivos de carinata sembrados temprano tienen más tiempo para completar su ciclo, mientras que los cultivos de siembra tardía reducen el crecimiento pre-floración, provocando un corto período de desarrollo vegetativo (Saran y Giri, 1987).

En otro ambiente, Kumar et al. (2008) trabajando con cuatro especies de *Brassicas* en el Norte de India encontraron que el retraso en la fecha de siembra aumentó

el número de días a la floración 50%, pero redujo drásticamente el número de días hasta la madurez. Carinata fue la especie que presentó mayor duración de ambas fases con respecto a las demás. La reducción del rendimiento de la última fecha de siembra se debe no sólo a que se acumula menos materia seca sino también a una menor cantidad de materia seca transformada en grano (menor índice de cosecha, Saran y Giri, 1987).

En general, la disminución del largo de ciclo por el retraso de la fecha de siembra, conduce a una disminución en la acumulación de la materia seca y por tanto del rendimiento en grano (Kumar et al., 2008). Además, en varios experimentos, las fechas de siembras tardías, tuvieron un efecto negativo en la calidad de grano reduciendo el contenido de aceite (Kumar et al., 2008). Resultados encontrados en Argentina muestran que la siembra debe realizarse durante los meses de abril y mayo, para tener una floración al inicio de la primavera y la maduración y cosecha a finales de noviembre o principio de diciembre (Falasca y Ulberich, 2010).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, ruta 3, km 363 Paysandú, Facultad de Agronomía, durante la zafra 2017 (Figura 1). Se sembraron un total de seis materiales de *Brassica carinata* (un material comercial - Avanza 641 y cinco materiales experimentales DH-056.228, DH-146.842, DH-174.117, M-01 y M-06) y como testigo se sembró un material comercial de *Brassica napus* (Rivette). Con el fin de analizar el efecto de la fecha de siembra y según las condiciones climáticas lo permitieron se sembraron dichos materiales en cuatro fechas de siembra: 7 de junio, 27 de junio, 24 de julio y 23 de agosto. No fue posible sembrar la fecha de siembra de inicios de mayo por exceso de precipitaciones en el período y la siembra del 7 de junio se realizó bajo condiciones de extrema humedad, lo que condicionó el desarrollo del cultivo en esa fecha de siembra. El diseño experimental implementado fue bloques completos al azar con tres repeticiones, cada parcela contenía nueve surcos a una distancia de 0,17 metros entre filas y median 7 metros de largo.

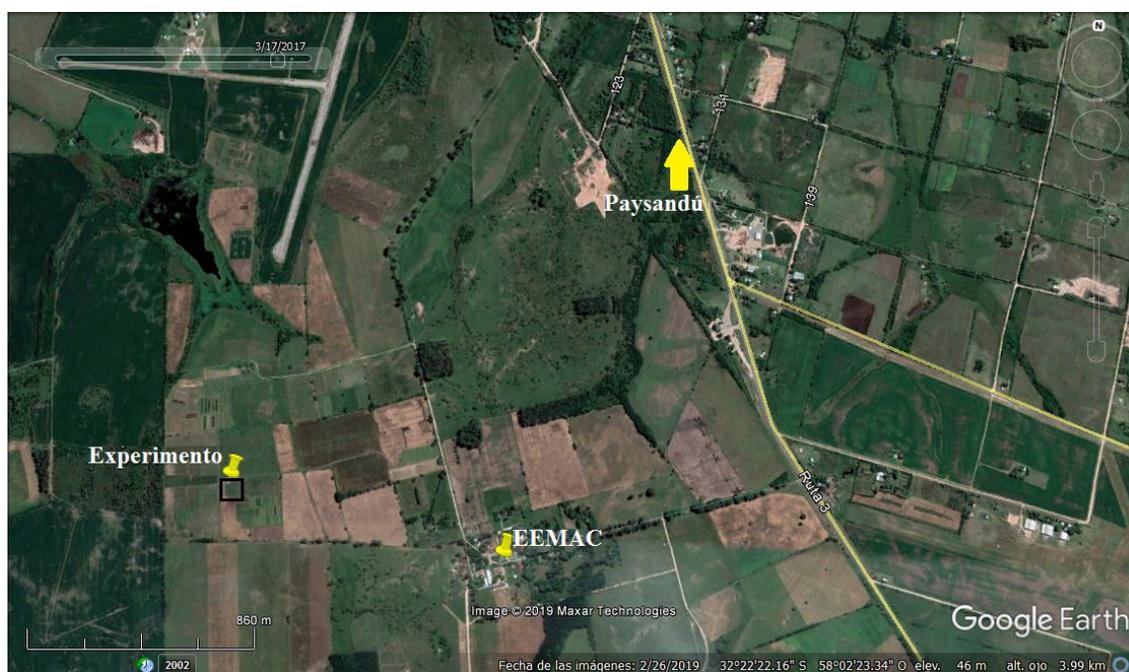


Figura 1. Localización del experimento

La fertilización, el control de plagas, malezas y enfermedades fueron tal que no limitaran el desarrollo del cultivo. Se efectuó un control adecuado para que el cultivo creciera en condiciones óptimas con respecto a estos factores. Semanalmente, desde la siembra de cada ensayo, se evaluó la fenología del cultivo, para lo cual se utilizó la escala CETIOM (Anexo 1) para conocer la ubicación de los distintos períodos del cultivo (C1, F1 y cosecha) y así poder relacionarlos con las condiciones climáticas.

Se evaluó la población lograda de cada parcela y a cosecha se determinó el rendimiento en grano logrado, la biomasa total acumulada, el número de silicuas por unidad de superficie, y el contenido de materia grasa. Para determinar estos componentes se cortaron los dos surcos centrales de cada parcela (2 metros a cada uno), después de realizado el conteo total de silicuas en la muestra, la totalidad de la muestra fue secada a estufa. El contenido de aceite del grano se estimó con una muestra de cada parcela por resonancia magnética nuclear. Para la determinación de la probabilidad de ocurrencias de heladas en los períodos críticos del cultivo se utilizó la base de datos disponible en Castaño et al. (2011), estos autores denominan heladas agrometeorológicas cuando la temperatura mínima de césped es menor a cero grado. En dicha base se encuentran las heladas promedio que ocurren mensualmente, la cual fue elaborada analizando registros de ocurrencia de heladas desde 1980 hasta 2009. Para este trabajo se eligieron los mapas con percentil 50 y los meses donde el cultivo es más susceptible a las mismas. Cabe aclarar que éstas heladas son las que se esperan que ocurran en los meses seleccionados, pero puede diferir con lo realmente ocurrido en la zafra 2017 para la cual no existen registros de heladas disponibles.

Para el análisis estadístico de la información, se utilizaron regresiones lineales y cuadráticas, relacionando las variables evaluadas, lo cual fue analizado a partir de análisis de varianza de la regresión. Para algunas variables se realizó un análisis a través de un análisis de varianza, pero comparando los materiales dentro de una fecha de siembra. En estos casos para la separación de medias, se utilizó el procedimiento de mínimas diferencias significativas. En todos los casos, fue utilizado el software Infostat 2019/L.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZAFRA 2017

4.1.1 Temperatura

Con respecto a la temperatura, en el período en el cual se sembraron y cosecharon los cultivos (Figura 2) se puede afirmar que estuvieron por encima de la media histórica para dicho período excepto en los meses de octubre y noviembre. Estas altas temperaturas combinadas con los excesos de precipitaciones ocurridas en los meses de agosto y setiembre (Figura 3) conformaron un escenario desfavorable para el cultivo. El promedio de la temperatura para el período de crecimiento del cultivo en ésta zafra estuvo 0,7 grados por encima de la media histórica lo cual indica que el cultivo estuvo expuesto a un ambiente más cálido.

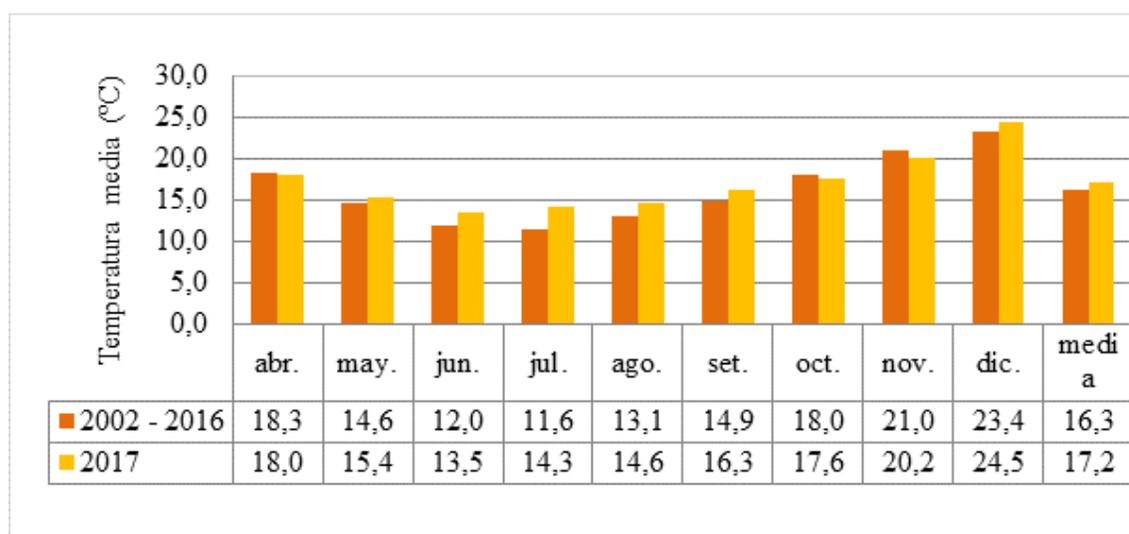


Figura 2. Temperatura media ocurrida durante la zafra 2017 en relación a la media histórica 2002-2016

4.1.2 Régimen pluviométrico

Las precipitaciones durante el mes de mayo fueron abundantes dificultando las siembras tempranas (Figura 3). Durante los meses de junio y julio no se tuvo problemas para sembrar, pero en agosto las precipitaciones triplicaron la media histórica y en setiembre duplicaron, esto trajo como consecuencia condiciones limitantes para los períodos de elongación y llenado de grano en la mayoría de las fechas de siembra evaluadas.

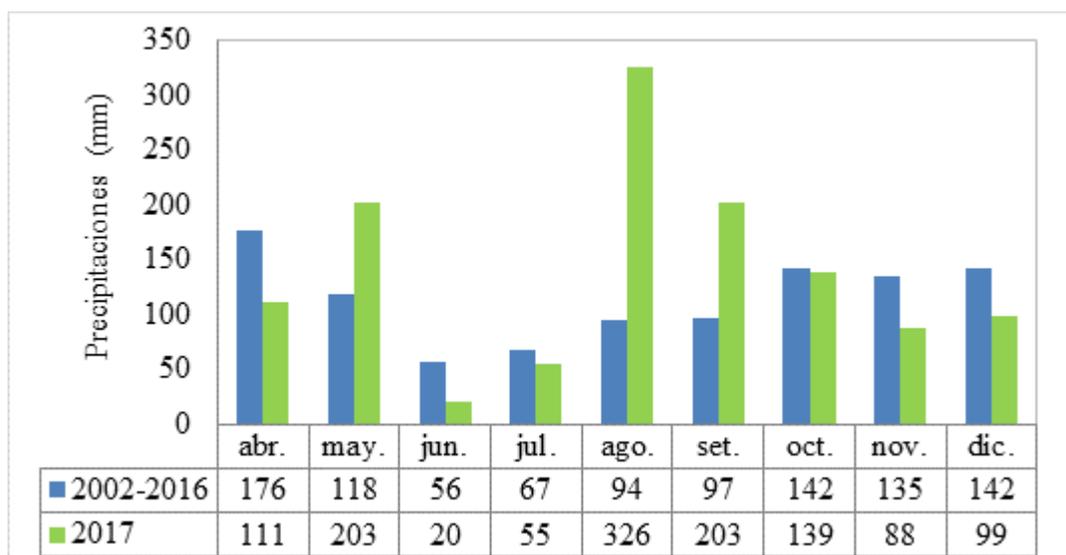


Figura 3. Precipitaciones ocurridas durante la zafra 2017 en relación a la media histórica 2002-2016

4.13 Radiación incidente

La radiación incidente (Figura 4) tuvo un comportamiento contrario al de las precipitaciones. En los meses que llovió por encima de la media histórica la radiación incidente estuvo por debajo y viceversa; esto se debe a que generalmente los días lluviosos permiten menor ingreso de radiación con respecto a los días que no llueve, en este sentido en los meses de agosto y setiembre hubieron precipitaciones muy por encima de la media histórica, en éstos meses algunas épocas de siembra (1 y 2) se encontraban entre los períodos de elongación y floración (C y F respectivamente) y las otras épocas en etapas más iniciales e inclusive en implantación (época 4); la combinación de éstos factores pudo haber afectado el rendimiento del experimento.

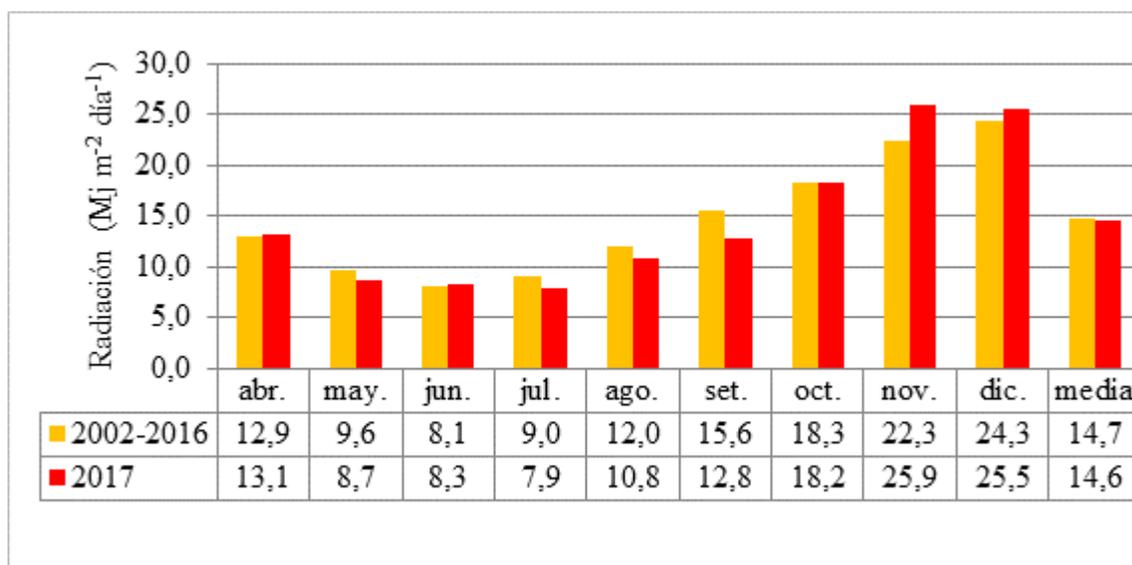


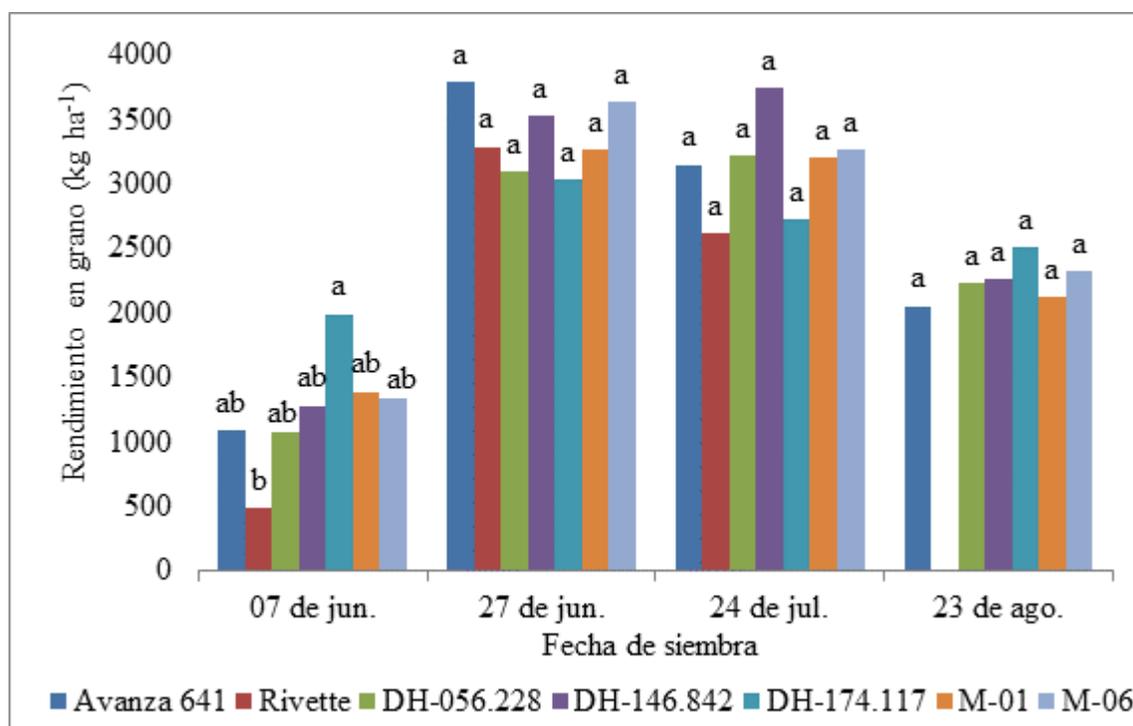
Figura 4. Radiación media diaria durante la zafra 2017 en relación a la media histórica 2002-2016

4.2 RENDIMIENTO Y COMPONENTES

El rendimiento de los distintos materiales sembrados en el experimento no presentó grandes diferencias dentro de una misma fecha de siembra (Figura 5). Los mayores rendimientos medios estuvieron asociados a la segunda y tercera fecha de siembra. De acuerdo a los antecedentes, no es esperable obtener bajos rendimientos con fechas de siembra tempranas (primer fecha de siembra), ya que de acuerdo a los trabajos previos, siembras más tempranas, se asocian a mayores rendimientos (Kumar et al. 2008, Falasca y Ulberich 2010).

Los bajos rendimientos obtenidos con la primera fecha de siembra se pueden explicar por elevadas precipitaciones ocurridas durante los meses de agosto y setiembre, que afectaron el período de elongación y especialmente el período crítico de determinación del rendimiento (Kirkegaard et al., 2018) de esa fecha en particular y las malas condiciones de siembra e implantación, y que hacen que esta fecha de siembra no sólo fue posible de lograr bajo condiciones comerciales. En contraparte, en la última fecha de siembra (23 de agosto) es esperable un menor rendimiento debido a un acortamiento del ciclo del cultivo a causa de una respuesta al fotoperíodo, no obstante el rendimiento fue bueno en relación a los rendimientos medios obtenidos a nivel comercial ($\approx 1500 \text{ kg ha}^{-1}$, MGAP. DIEA, 2017), ya que aun sembrando en la última década de agosto, el rendimiento medio de carinata fue de 2250 kg ha^{-1} , un 32% mayor que el rendimiento comercial. A su vez, para esta última fecha, no fue posible cosechar el material de colza (Rivette), ya que producto de su falta de uniformidad en la floración y su escaso crecimiento, generaron problemas en la cosecha.

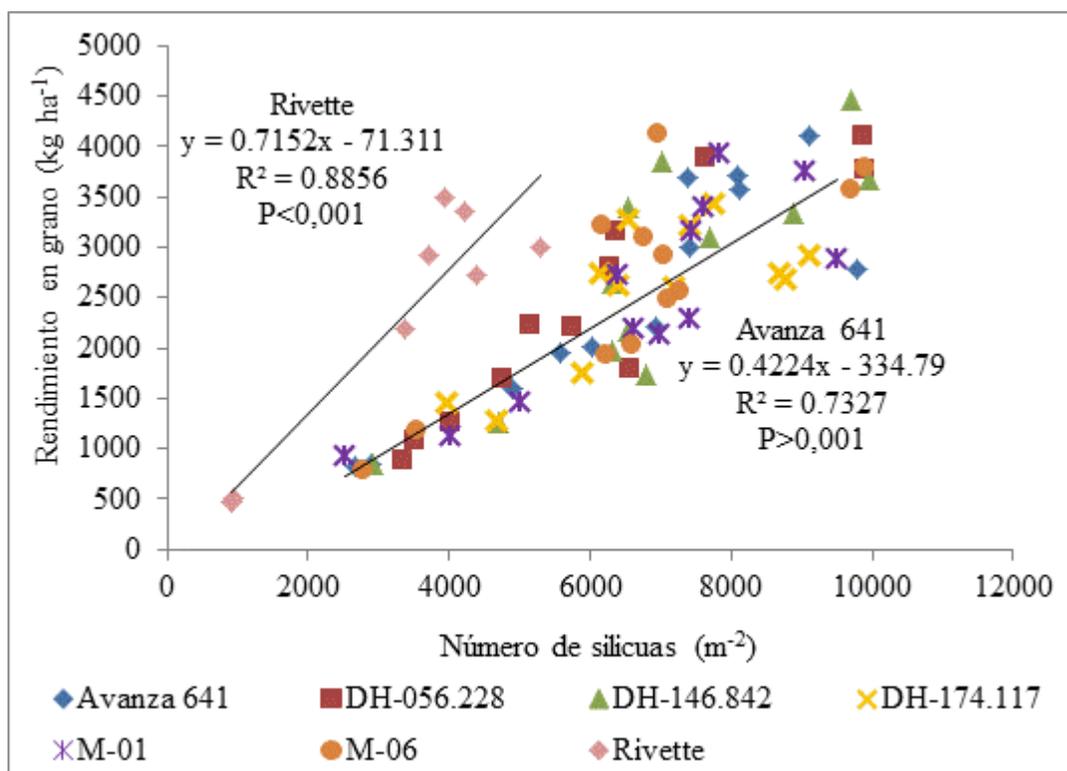
Otro aspecto a resaltar en este trabajo es la ausencia de diferencias en rendimiento entre materiales de carinata y entre carinata y colza (a excepción de la primera fecha de siembra), y el alto potencial alcanzado en la fecha de siembra de junio y julio (3253 kg ha^{-1}), a pesar de las condiciones ambientales poco favorables para el cultivo (Figuras 2 y 3).



Medias con una letra común dentro de cada fecha de siembra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Figura 5. Rendimiento en grano de cada material por fecha de siembra

El rendimiento en grano estuvo directamente asociado con el número de silicuas por metro cuadrado (Figura 6). En la figura se muestra la regresión entre éstas variables para los dos materiales comerciales (Rivette y Avanza 641) y para ambos casos la regresión es significativa, aunque con distintas pendientes, lo que determina que para un mismo rendimiento, Rivette necesita menos silicuas que Avanza 641, lo que determina que presentan diferencias en el rendimiento por silicua entre especies.



Se muestra la regresión para los dos materiales comerciales, Rivette (colza) y Avanza 641 (carinata).

Figura 6. Rendimiento en grano de cada material en función del número de silicuas

Para el componente granos por silicuas, se observó para los dos materiales comerciales (Figura 7) una relación significativa (aunque débil) entre este componente y el rendimiento. No obstante, la cantidad de granos por silicua de carinata nunca supera a la cantidad de granos de colza. En términos medios, colza tiene 20 granos por silicua, mientras carinata sólo 11 granos por silicua.

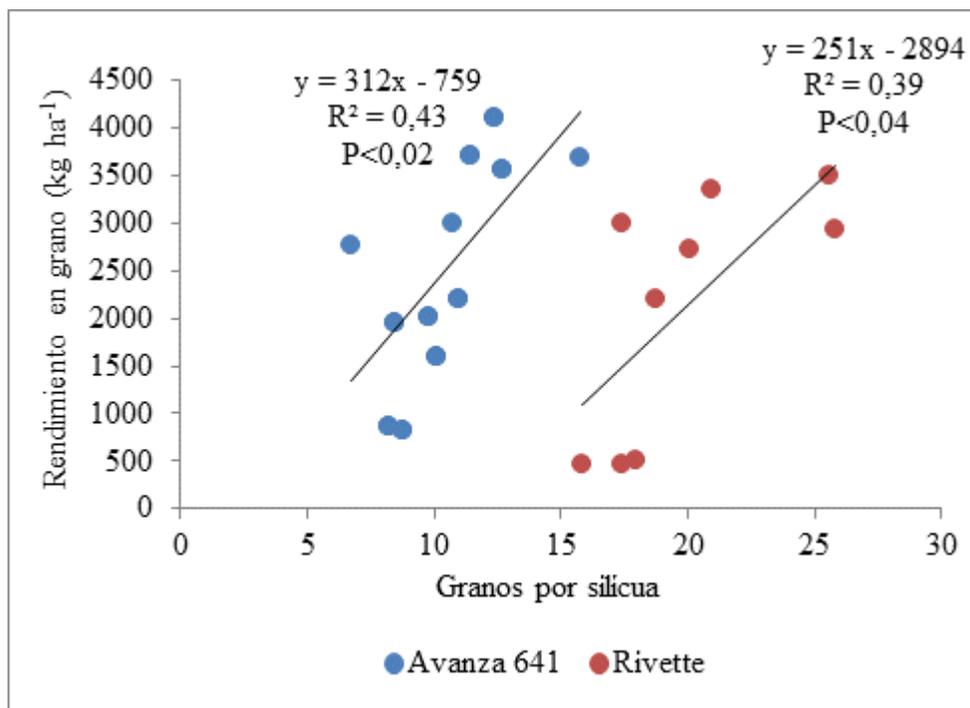


Figura 7. Relación entre el rendimiento en grano y los granos por silicua según especie y material

Al igual que para la mayor parte de los cultivos de grano, el rendimiento estuvo directamente relacionado con el número de granos por metro cuadrado (Figura 8a), sin diferencias en la tendencia entre las especies evaluadas, lo que indica, que a pesar de que se espera un mayor peso de grano para carinata (Xin et al., 2014), en las condiciones del experimento no se detectó esa diferencia. Por otra parte, no existió relación entre el peso de grano y el rendimiento (Figura 8b).

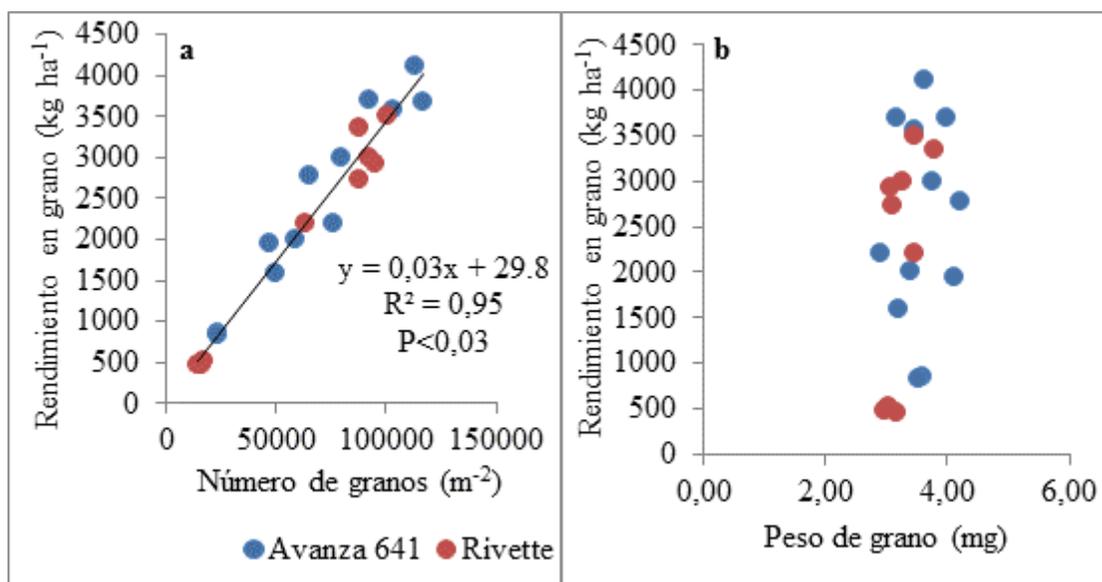


Figura 8. Relación entre el rendimiento en grano y el número de granos (a) y peso de grano (b)

Por último, si bien no existió una relación fuerte entre el índice de cosecha y el rendimiento, se encontró para carinata (Avanza 641) un comportamiento variable y sin ninguna tendencia clara, en contraparte para colza (Rivette), los bajos rendimientos estuvieron asociados a bajos índices de cosecha (Figura 9).

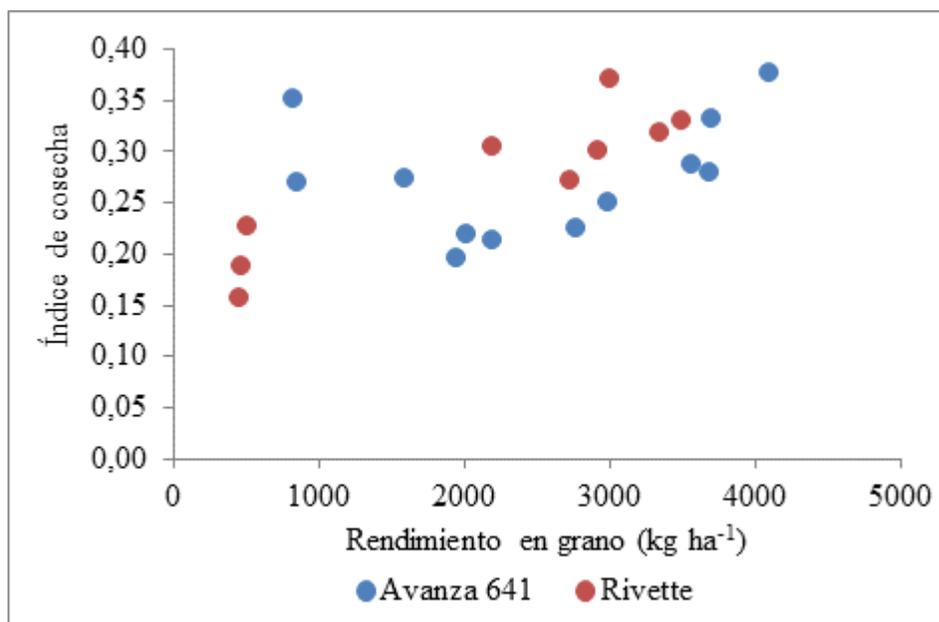
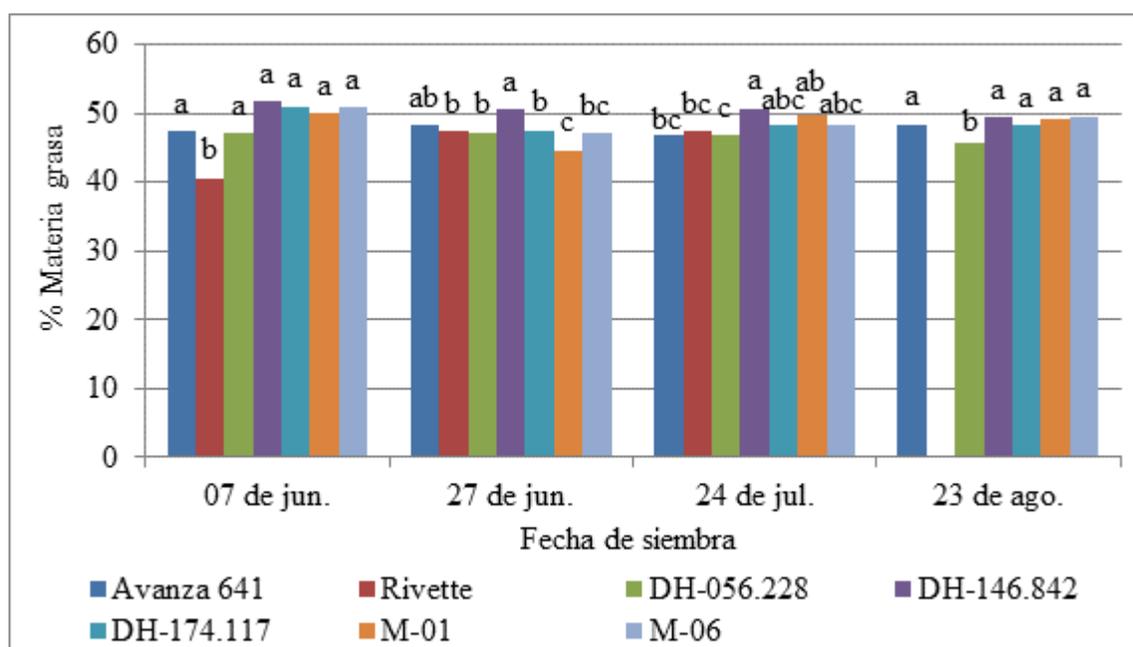


Figura 9. Relación entre el índice de cosecha y el rendimiento en grano

4.3 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE MATERIA GRASA

El porcentaje de materia grasa presentó escasas diferencias entre cultivares dentro de una misma fecha de siembra y a lo largo de las distintas fechas. Esto último no coincide con reportes previos que indican que en la medida que se atrasa la fecha de siembra y aumenta la temperatura durante el llenado de grano, disminuye la concentración de materia grasa (Pan et al., 2012). Por otra parte, también contrario a los reportes previos, en todas las fechas de siembra, colza presentó valores menores y/o iguales de materia grasa respecto a carinata (Pan et al., 2012). Dentro de carinata el cultivar que presenta mayores valores absolutos en todas las fechas fue DH-146.842, mientras que el material comercial (Avanza 641), si bien no presenta los valores máximos en todas las fechas, se mostró estable en todo el período (Figura 10).



Medias con una letra común dentro de cada fecha de siembra, no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Figura 10. Porcentaje de materia grasa por material según fecha de siembra

4.4 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS A LO LARGO DEL CICLO DEL CULTIVO

4.4.1 Suma térmica

Los materiales de carinata sembrados, no presentaron diferencias mayores en los ciclos entre ellos, al igual que ocurrió para el rendimiento en grano (por este motivo

se presentan mayormente resultados del material comercial de carinata – Avanza 641), aunque se diferenciaron de forma importante con el material de colza sembrado como testigo (Rivette). Se observó una notoria disminución del ciclo (en °C día) de todos los materiales en la medida que se atrasó la fecha de siembra. A su vez, en las fechas de siembra más tardías, los ciclos de carinata y colza tendieron a ser más parecidos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Requerimientos térmicos de los distintos períodos entre estadios fenológicos, según fecha de siembra, para colza (*cv.* Rivette) y carinata (*cv.* Avanza 641)

Fecha de siembra	Material	Suma térmica (°C día)			
		S-C1	C1-F1	F1-Cosecha	Total
7 de jun.	Rivette	878	122	899	1899
	Avanza 641	811	326	1134	2271
27 de jun.	Rivette	806	226	1134	2166
	Avanza 641	714	567	1150	2431
24 de jul.	Rivette	701	349	934	1984
	Avanza 641	637	635	1098	2370
23 de ago.	Rivette	682	343	1044	2069
	Avanza 641	682	515	947	2144

Para el período entre la siembra e inicio de elongación (S-C1) se observó que Rivette tuvo mayores requerimientos térmicos que Avanza 641 en las tres primeras fechas de siembra e iguales en la última época de siembra. Si bien, Rivette es un cultivar primaveral de ciclo muy corto (Vera et al., 2014), según los datos obtenidos en este ensayo presenta mayores requerimientos térmicos que Avanza 641 al momento de inicio de elongación (C1). Este comportamiento tiene implicancias en el manejo de la fertilización nitrogenada, en la medida que los modelos de fertilización usan este estadio como momento de evaluación (Ferreira y Ernst, 2014) y en el caso del cultivo de carinata, este estadio ocurre antes que, en colza, a pesar de que el ciclo total de carinata es mayor.

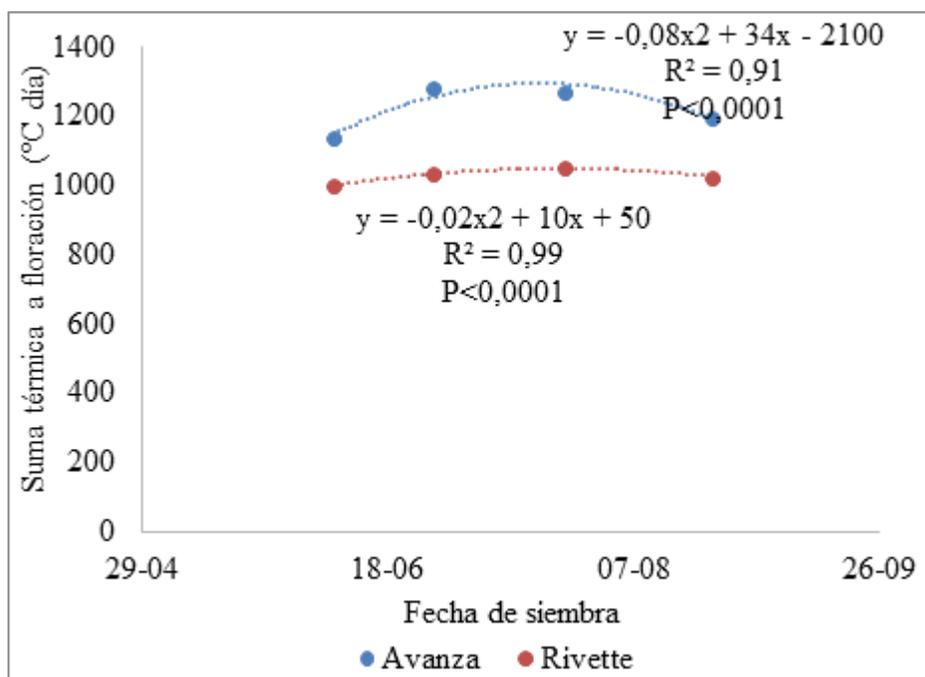


Figura 11. Requerimientos térmicos, según fecha de siembra, para el período siembra-F1

Cuando se analiza la suma térmica del período siembra a floración (F1: primeras flores abiertas), se observa que en todo el período el cultivar Rivette requirió menor cantidad de grados días que Avanza 641 para alcanzar dicho estado fenológico. A su vez, ambos materiales ajustan una curva cuadrática, donde la duración del período siembra, inicio de floración es menor en siembras tempranas (inicio de junio) y disminuye hacia fines de julio. Este comportamiento es difícil de explicar, en la medida que lo esperable es una disminución del ciclo al atrasar la fecha de siembra consecuencia del fotoperíodo (Neelam et al. 1994, Nanda et al. 1996) hasta un fotoperíodo umbral de 12 a 14 hs. A su vez se observa una mayor respuesta de carinata al fotoperíodo, a la medida que se atrasan las fechas de siembra bajan los requerimientos térmicos para alcanzar el estadio F1, en cambio colza mantiene los requerimientos térmicos presentando menor sensibilidad al fotoperíodo. Por su parte, entre los materiales evaluados de carinata existieron algunas diferencias en ciclo cuando se analiza este período, lo que demuestra que hay diferencias en requerimientos en el período entre C1-F1, las mayores diferencias se presentan en la primera fecha de siembra donde todos los materiales experimentales, excepto el material M-06 que presenta los mismos requerimientos térmicos que Avanza 641, presentan mayores requerimientos (Figura 12).

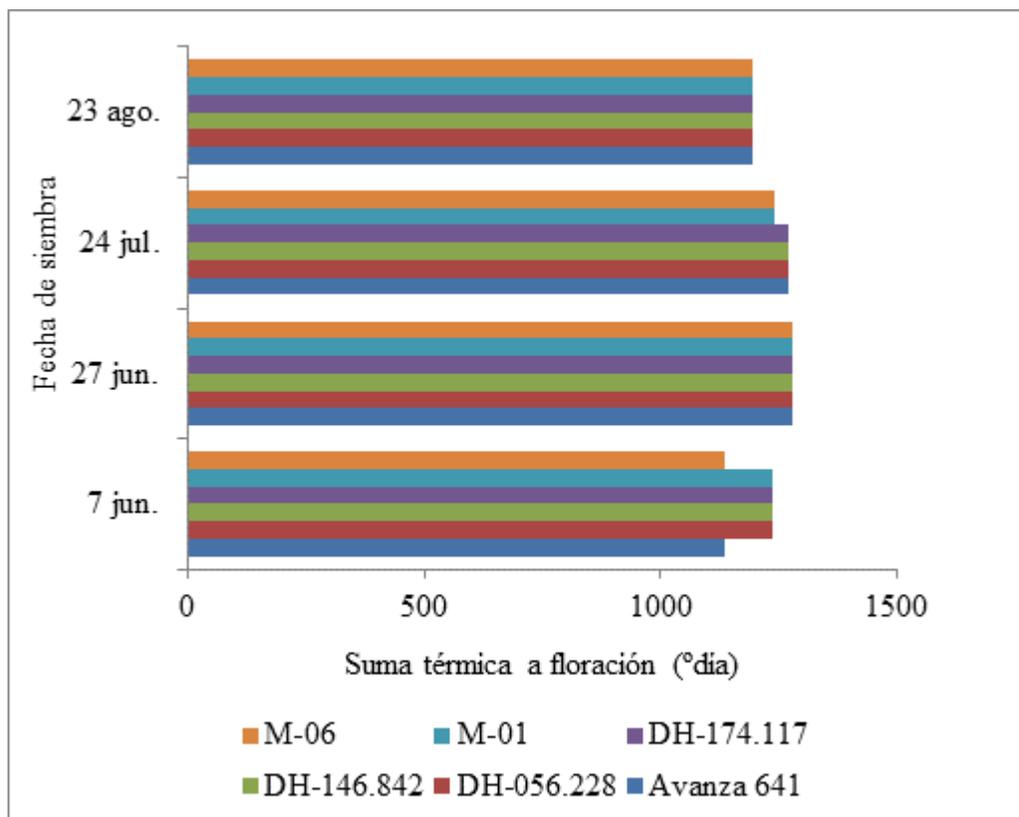


Figura 12. Suma térmica a floración según material y fecha de siembra

4.4.2 Precipitaciones acumuladas

Existió una importante variación en la cantidad de precipitaciones recibidas para un mismo cultivar en cada período según la fecha de siembra. Existieron diferencias mayores a 200 milímetros en el período de siembra a C1 entre la primer y última fecha de siembra. Las precipitaciones acumuladas oscilaron entre 600 y 800 milímetros para ambas especies, aunque colza (Rivette) presentó una acumulación total menor que carinata (Avanza 641) por presentar un ciclo más corto, a su vez el régimen hídrico medio está dentro del rango de valores reportados como necesarios para un adecuado nivel de rendimiento de carinata (Getinet y Nigussie, 1997a).

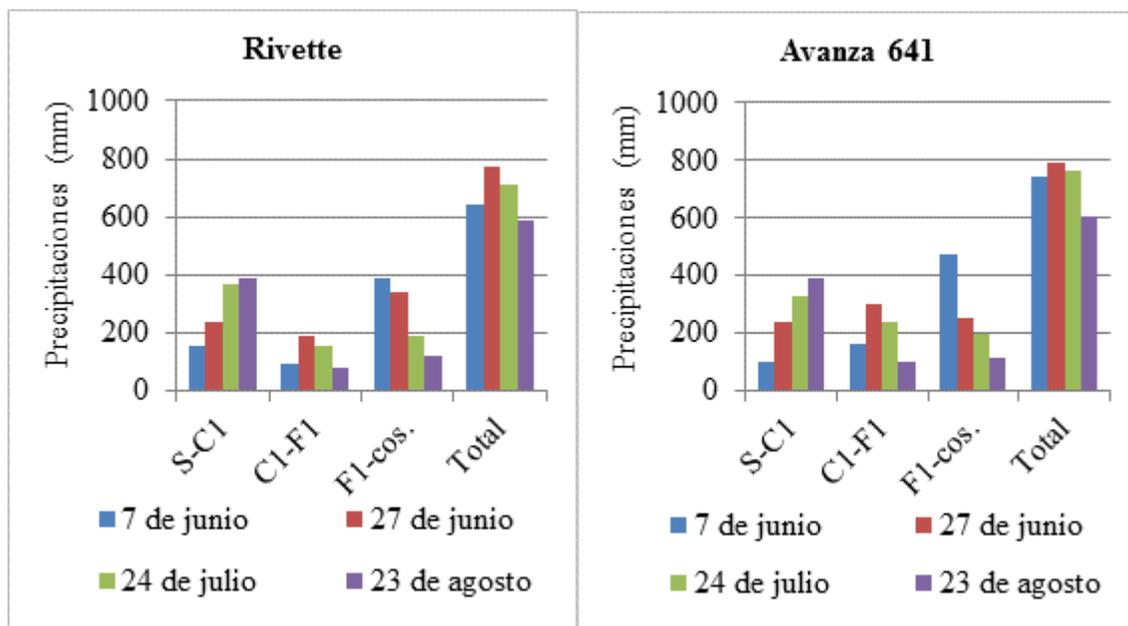


Figura 13. Precipitaciones acumuladas para Rivette (izquierda) y Avanza 641 (derecha) por períodos fenológicos y para las distintas fechas de siembra

Al estudiar el efecto de las precipitaciones sobre el rendimiento, se encontró para los materiales comerciales, que las precipitaciones ocurridas entre F1 y cosecha afectaron el rendimiento en grano en ambas especies. Los menores rendimientos logrados se obtuvieron en la primera fecha de siembra, lo que no es esperable en función de los trabajos previos (Saran y Giri 1987, Nanda et al. 1996, Kumar et al. 2008), pero se explica por una elevada ocurrencia de precipitaciones en este período (Figura 14), considerado el crítico para la determinación del rendimiento (Kirkegaard et al., 2018).

Los rendimientos del material Avanza 641 aumentan hasta alrededor de los 200 milímetros y los de Rivette aumentan hasta alrededor de los 400 milímetros (Figura 14). Cómo ha sido reportado en la bibliografía, carinata se comporta mejor en condiciones de bajas precipitaciones durante el período de llenado de grano (Alemaw 1987, Mazzoncini y Angelini 2002, Milazzo et al. 2013) por ser más tolerante a la baja disponibilidad de agua (Rakow y Getinet 1998, Zanetti et al. 2009, Pan et al. 2012, Marillia et al. 2014).

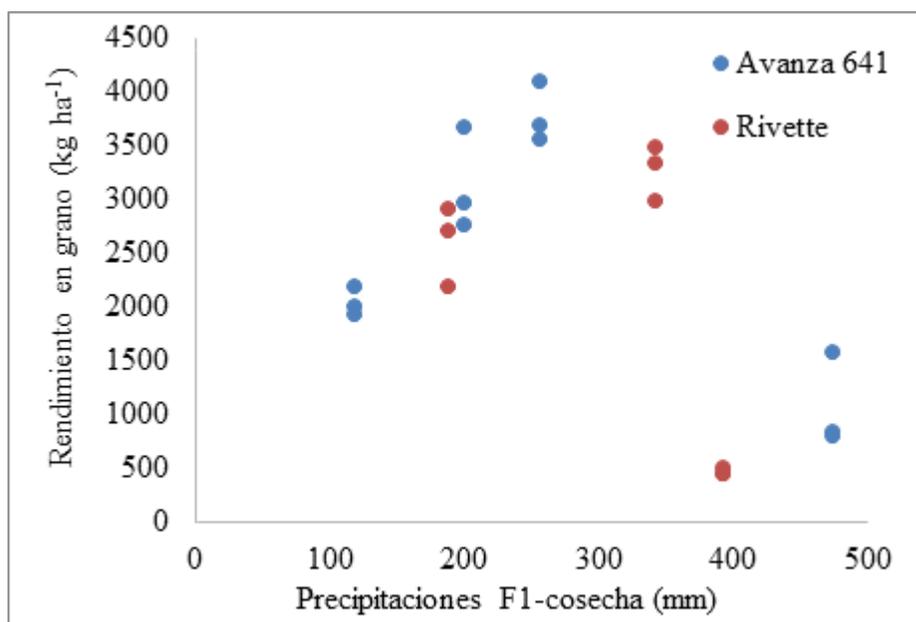


Figura 14. Relación entre el rendimiento en grano y las precipitaciones recibidas en el período entre F1 y cosecha

4.5 RIESGO POTENCIAL DE HELADAS SEGÚN FECHA DE SIEMBRA

El análisis del riesgo potencial de heladas se realizará únicamente para Rivette y Avanza 641 debido a que los materiales experimentales de esta última especie presentaron similar comportamiento al material comercial. Para la primera época de siembra ambos cultivares presentan un alto riesgo de ocurrencias de heladas tanto en implantación como en floración, estos períodos son críticos para el cultivo afectando el resultado productivo la ocurrencia de estas heladas (Getinet y Nigussie 1997a, Falasca y Ulberich 2010).

Para las siguientes épocas de siembra (27 de junio, 24 de julio y 23 de agosto; segunda, tercera y cuarta época de siembra respectivamente) el comportamiento fue similar entre épocas presentando un alto riesgo de ocurrencia de heladas en implantación y un bajo o nulo riesgo en floración; luego de implantado el cultivo no presentaría riesgo por ocurrencia de heladas en su período crítico de determinación del rendimiento. La tercera época de siembra es la que presenta mayor riesgo de heladas en implantación, siendo pertinente aclarar que el número de heladas (9 en este caso) es para todo el mes de julio y la siembra se realizó a fines de julio lo que puede reducir el riesgo potencial a la ocurrencia de esas heladas. La última fecha de siembra es la que presenta la mejor combinación entre implantación y floración en lo que respecta a la potencial ocurrencia de heladas.

Cuadro 2. Riesgo potencial de heladas en implantación y floración según fecha de siembra y cultivar utilizado

Fecha de siembra	No. de heladas implantación	Cultivar	Días a floración	Fecha floración	No. heladas floración
7 de junio	7	Avanza 641	80	25-ago.	5
		Rivette	71	16-ago.	5
27 de junio	7	Avanza 641	86	20-set.	2
		Rivette	70	04-set.	2
24 de julio	9	Avanza 641	80	11-oct.	0
		Rivette	67	28-set.	2
23 de agosto	5	Avanza 641	70	31-oct.	0
		Rivette	61	22-oct.	0

5. CONCLUSIONES

Los rendimientos medios obtenidos en el experimento no presentaron mayores diferencias entre especies en una misma fecha de siembra. Los mayores rendimientos se obtuvieron en la segunda y tercer fecha de siembra (3374 kg ha⁻¹ y 3132 kg ha⁻¹ en promedio respectivamente). El cultivar de *Brassica napus* (Rivette) usado como testigo, presentó menor rendimiento en la tercera época de siembra con 600 kg ha⁻¹ por debajo de la media de la fecha, esto puede estar explicado por varios motivos, pero tuvo una muy baja acumulación de precipitaciones entre inicio de elongación y cosecha (C1-cosecha). La primera fecha de siembra rindió por debajo de lo esperado posiblemente consecuencia de los excesos hídrico en los meses de agosto y setiembre afectando el inicio de floración del cultivo. La última época presenta rendimientos medios menores a las dos épocas anteriores (para carinata, colza no se cosechó en esta fecha) pero igualmente superior a la media obtenida a nivel comercial lo que demuestra que aún en condiciones de poca disponibilidad hídrica carinata presenta buenos rendimientos.

El rendimiento estuvo explicado por el número de silicuas por metro cuadrado y por lo granos por silicuas, lo que conlleva a una relación directa y proporcional entre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado. En cuanto al índice de cosecha carinata no muestra una relación clara entre éste y el rendimiento, en cambio colza los bajos rendimientos se obtuvieron con bajos índices de cosecha.

El cultivo de colza necesitó una mayor suma térmica (°Cd) que carinata para alcanzar el estadio de inicio de elongación (C1), pero a su vez presentó una sumatoria térmica total menor lo que deja en evidencia su ciclo más corto, en comparación con carinata. En la medida que se atrasa la fecha de siembra los ciclos de ambas especies tienden asemejarse.

Los resultados de este ensayo, fueron generados en una zafra particular en lo que se refiere a lo climático, no se pudieron realizar siembras más tempranas por excesos hídricos en mayo y la siembra de junio se vio afectada por los excesos de los meses siguientes, pero se puede afirmar que existe un efecto en la fecha de siembra para ambas especies (carinata y colza) sin considerables diferencias entre ellas dentro de una misma época.

6. RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la fecha de siembra en el rendimiento y calidad del cultivo de *Brassica carinata* se sembraron seis materiales de ésta y un testigo de colza (*Brassica napus cv. Rivette*) en cuatro fechas de siembra. El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (Paysandú, Uruguay). De los seis materiales de *carinata* cinco eran experimentales y uno comercial (Avanza 641). Las fechas de siembra en las cuales se sembraron los ensayos fueron 7 de junio, 27 de junio, 24 de julio y 23 de agosto. Los resultados demuestran que la fecha de siembra tuvo efecto en el rendimiento de los materiales sembrados en el ensayo mostrándose como mejores la segunda y tercera fecha de siembra. El número de granos por unidad de superficie es el componente que en mayor medida influye sobre el rendimiento. No existió una mejor fecha de siembra recomendable en términos de materia grasa habiendo una heterogeneidad entre fechas y una interacción entre materiales y fecha de siembra.

Palabras clave: *Brassica carinata*; Fecha de siembra; Rendimiento.

7. SUMMARY

In order to evaluate the effect of the sowing date on the yield and quality of the *Brassica carinata* crop, six materials of it and a control of rapeseed (*Brassica napus* cv. Rivette) were sown on four sowing dates. The experiment was carried out at the Mario A. Cassinoni Experimental Station (Paysandú, Uruguay). Of the six carinata materials, five were experimental and one commercial (Avanza 641). The sowing dates on which the trials were sown were June 7th., June 27th., July 24th. and August 23rd. The results show that the sowing date had an effect on the performance of the materials sown in the trial, showing the second and third sowing dates as the best. The number of grains per unit area is the component that has the greatest influence on yield. There was no better recommended sowing date in terms of fat matter, there being heterogeneity between dates and an interaction between materials and sowing date.

Keywords: *Brassica carinata*; Sowing dates; Performance.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alemaw, G. 1987. Review on breeding of Ethiopian mustard (*Brassica carinata*, A. Braun). In: International Rapeseed Congress (7th., 1987, Poznan, PL). Proceedings. Addis Abeba, s.e. pp. 593-597.
2. Cardone, M.; Mazzoncini, M.; Menini, S.; Rocco, V.; Senatore, A.; Seggiani, M.; Vitolo, S. 2003. *Brassica carinata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. Biomass and Bioenergy. 25(6):623-636.
3. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).
4. Escan Consultores Energéticos, ES. 2008. Manual de cultivos para energía, ENCROP Handbook. (en línea). Madrid, ESCAN. 42 p. Consultado 17 jul. 2018. Disponible en https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/encrop_spanish_handbook.pdf
5. Falasca, S.; Ulberich, A. 2010. La producción de mostaza etíope (*Brassica carinata*) en Argentina como cultivo energético. Revista Geográfica del IPGH. 148(2):7-22.
6. Ferreira, G.; Ernst, O. 2014. Diagnóstico del estado nutricional del cultivo de colza (*Brassica napus*) en base a curvas de dilución de nitrógeno y azufre. Agrociencia (Uruguay). 18(1):75-85.
7. Gesch, R. W.; Isbell, T. A.; Oblath, E. A.; Allen, B. L.; Archer, D. W.; Brown, J.; Hatfield, J. L.; Jabro, J. D.; Kiniry, J. R.; Long, D. S.; Vigil, M. F. 2015. Comparison of several Brassica species in the north central U.S. for potential jet fuel feedstock. Industrial Crops and Products. 75:2-7.
8. Getinet, A.; Rakow, G.; Raney, J. P.; Downey, R. K. 1994. Development of zero erucic acid Ethiopian mustard through an interspecific cross with zero erucic acid Oriental mustard. Canadian Journal of Plant Science. 74:793-795.

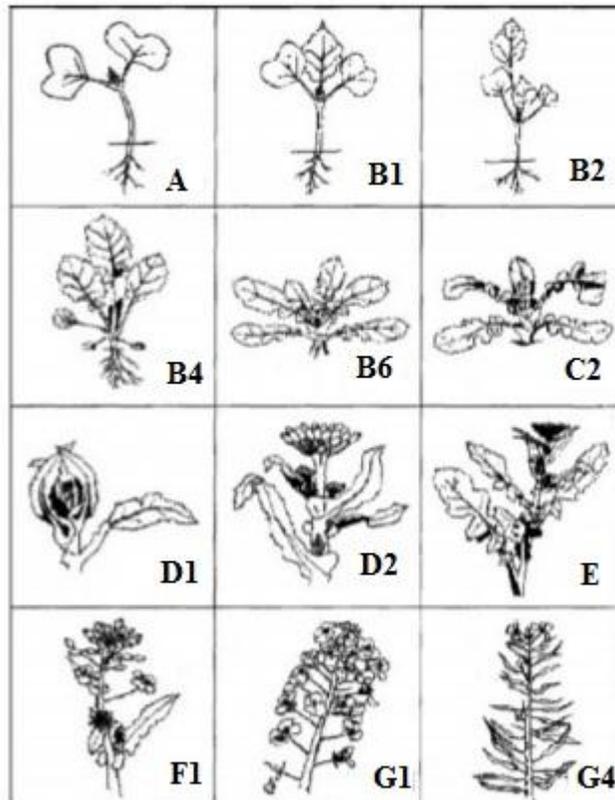
9. _____.; _____.; Downey, R. K. 1996. Agronomic performance and seed quality of Ethiopian mustard in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*. 76(3):387-392.
10. _____.; Nigussie, A. 1997a. Highland oilcrops: a three-decade research experience in Ethiopia. Addis Abeba, Ethiopia, Institute of Agricultural Research. pp. 1-35 (Research Report no. 30).
11. _____.; _____.; Downey, R. K.; Raney, J. P. 1997b. The inheritance of erucic acid content in Ethiopian mustard. *Canadian Journal of Plant Science*. 77(1):33-41.
12. Husen, A.; Iqbal, M.; Aref, I. M. 2014. Growth, water status, and leaf characteristics of *Brassica carinata* under drought and rehydration conditions. *Brazilian Journal of Botany*. 37(3):217–227.
13. ICI (Instituto de Ciencia e Investigación, UY). 2018. UPM junto a INIA y Facultad de Agronomía exploran la *Brassica carinata* como una nueva alternativa de cultivo de invierno. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 jul. 2018. Disponible en <http://www.iciforestal.com.uy/uruguay/16668>
14. Kirkegaard, J. A.; Lilley, J. M.; Brill, R. D.; Ware, A. H.; Walela, C. K. 2018. The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*. 222:180-188.
15. Klassen, A. J.; Downey, R. K.; Capcara, J. J. 1987. Westar summer rapa. *Canadian Journal of Plant Science*. 67(2):491-493.
16. Kumar, R.; Singh, R. P.; Pal, Y. 2008. Yield and quality of Brassica species as influenced by different dates of sowing and varieties. *Pantnagar Journal of Research*. 6(1):6-11.
17. Licata, M.; La Bella, S.; Leto, C.; Bonsangue, G.; Gennaro, M. C.; Tuttolomondo, T. 2017. Agronomic Evaluation of Ethiopian Mustard (*Brassica carinata* A. Braun) Germplasm and Physical-energy Characterization of Crop Residues in a Semi-arid Area of Sicily (Italy). *Chemical Engineering Transactions*. 58:535-540.
18. Marillia, E. F.; Francis, T.; Falk, K.; Smith, M.; Taylor, D. C. 2014. Palliser's promise: *Brassica carinata*, An emergin gwestern Canadian crop for delivery of new bio-industrial oil feedstocks. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 3(1):65-74.

19. Mazzoncini, M.; Angelini, L. 2002. Brassicaceae e nuove specie oleaginose per usi industriali non alimentari. *Rivista di Agronomia*. 36(1):53-68.
20. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017. Anuario estadístico agropecuario 2017. Montevideo. 214 p.
21. Milazzo, M. F.; Spina, F.; Vinci, A.; Espro, C.; Bart, J. C. J. 2013. Brassica biodiesels: Past, present and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 18(1):350-389.
22. Nanda, R.; Bhargava, S. C.; Tomar, D. P. S.; Rawson, H. M. 1996. Phenological development of *Brassica campestris*, *B. juncea*, *B. napus* and *B. carinata* grown in controlled environments and from 14 sowing dates in the field. *Field Crops Research*. 46(1-3):93-103.
23. Neelam, K.; Bhargava, S. C.; Bhardwaj, S. N. 1994. Physiological basis of yield and its components in rapeseed mustard with reference to photoperiod. *Indian Journal Plant Physiology*. 37(3):142-146.
24. Ocampo, H. 2018. UPM incrementa en más de 30% la superficie de siembra con carinata. (en línea). *El Observador*, Montevideo, UY, jun. 22:s.p. Consultado 16 oct. 2019. Disponible en <https://www.elobservador.com.uy/nota/upm-incrementa-en-mas-de-30-la-superficie-de-siembra-con-carinata--2018622500>
25. Pan, X.; Caldwell, C. D.; Falk, K. C.; Lada, R. 2012. The effect of cultivar, seeding rate and applied nitrogen on *Brassica carinata* seed yield and quality in contrasting environments. *Canadian Journal of Plant Science*. 92(5):961-971.
26. Rakow, G.; Getinet, A. 1998. *Brassica carinata* an oilseed crop for Canada. In: International Symposium on Brassicas (10th., 1997, Rennes, France). Proceedings. *Acta Horticulturae* no. 459:419-426.
27. Saran, G.; Giri, G. 1987. Influence of dates of sowing on Brassica species under semi-arid rainfed conditions of north-west India. *The Journal of Agricultural Science*. 108(3):561-566.
28. Vera, M.; Vázquez, D.; Stewart, S.; Castro, B.; Castro, M. 2014. Resultados experimentales de colza en Uruguay. In: Simposio Latino Americano de Canola (1º., 2014, Passo Fundo, Río Grande del Sur). Trabajos presentados. s.l., EMBRAPA. s.p.

29. Xin, H.; Khan, N. A.; Falk, K. C.; Yu P. 2014. Mid-Infrared Spectral Characteristics of Lipid Molecular Structures in *Brassica carinata* Seeds: relationship to Oil Content, Fatty Acid and Glucosinolate Profiles, Polyphenols, and Condensed Tannins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62 (32):7977-7988.
30. Zanetti, F.; Vamerali, T.; Mosca, G. 2009. Yield and oil variability in modern varieties of high-erucic winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) and Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Braun) under reduced agricultural inputs. *Industrial Crops and Products*. 30(2):265-270.

9. ANEXOS

1. Escala CETIOM



Una etapa se alcanza cuando el 50% de las plantas se encuentran en ese momento.

Período	Estado de CETIOM		Descripción
	"A": cotiledonar		Sin hojas verdaderas. Dos cotiledones visibles.
Plántula	"B": formación de roseta	"B1"	Una hoja verdadera desplegada.
		"B2"	Dos hojas verdaderas desplegadas.
Roseta		"Bn"	"n" hojas verdaderas desplegadas.
Elongación	"C": inicio elongación	"C1"	Aumento de la vegetación. Aparición de hojas jóvenes.
		"C2"	Entrenudos visibles. Estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos pecíolos.
	"D": yemas unidas	"D1"	Yemas unidas, escondidas por hojas terminales.
		"D2"	Inflorescencia principal despejada, aun con yemas unidas. Inflorescencias secundarias visibles.
"E": yemas separadas	Yemas separadas. Los pedúnculos florales periféricos comienzan a alargarse.		
Floración- maduración	"F": floración	"F1"	Primeras flores abiertas.
		"F2"	Alargamiento de vara floral. Numerosas flores abiertas.
	"G": formación de silicuas	"G1"	Caída de primeros pétalos. Las diez primeras silicuas tienen un largo menor a 2 cm. Comienza la floración de inflorescencias secundarias.
		"G2"	Las diez primeras silicuas miden entre 2 y 4 cm.
		"G3"	Las diez primeras silicuas tienen un largo mayor a 4 cm.
		"G4"	Las diez primeras silicuas comienzan a madurar.
		"G5"	Granos coloreados.