

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFECTO DE LA POBLACIÓN Y LA UNIFORMIDAD SOBRE EL RENDIMIENTO
DE COLZA

por

Andrés ALAYÓN LOITEY
Nicolás ECHEGOYEN BOZZO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

Ing. Agr. Oswaldo Ruben Ernst Benech

Ing. Agr. Andrés Locatelli Fagúndez

Fecha: 14 de noviembre de 2018

Autores:

Andrés Alayón Loitey

Nicolás Echegoyen Bozzo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiéramos hacerle llegar nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias y amigos, que nos apoyaron en forma incondicional y fueron pilar clave para que se concretara tanto el presente trabajo como también todo el resto de la carrera de ingeniero agrónomo.

Queremos también aprovechar este espacio para agradecer y reconocer la enorme labor de nuestro director de tesis, Ing. Agr. Sebastián Mazzilli, que con su permanente apoyo, predisposición y orientación permitió que el trabajo de tesis se llevara a cabo con fluidez y normalidad.

Finalmente destacar y reconocer a todos los profesores, compañeros e ingenieros que contribuyeron de distintas formas y participaron en todo este proceso, el cual culmina con la defensa del trabajo de tesis.

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. EFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN EL RENDIMIENTO DE COLZA.....	 2
2.2. COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO.....	3
2.3. ARREGLO ESPACIAL Y UNIFORMIDAD.....	3
2.4. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO.....	5
2.4.1. <u>Siembra e implantación</u>	5
2.4.2. <u>Heladas en implantación</u>	6
2.5. PLASTICIDAD.....	7
2.6. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA UNIFORMIDAD.....	7
 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	 9
3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	9
3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	9
 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	 11
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO.....	11
4.1.1. <u>Registros climáticos de la estación experimental</u>	11
4.1.1.1. Precipitaciones.....	11
4.1.1.2. Radiación y temperatura.....	13
4.2. RESULTADOS GENERALES.....	15
4.2.1. <u>Rendimiento por unidad de superficie</u>	15
4.2.2. <u>Población lograda</u>	16
4.2.3. <u>Efecto de la población de plantas en el rendimiento</u>	17
4.2.4. <u>Cambios en el rendimiento en función del área individual media por planta</u>	 17
4.2.5. <u>Rendimiento en función de variaciones del área media individual (uniformidad)</u>	 18
4.2.6. <u>Rendimiento en función de la distancia media entre plantas</u>	19
4.2.7. <u>Rendimiento en función del desvío estándar de la distancia media entre plantas</u>	 20

4.2.8. <u>Desvío estándar de la distancia entre plantas en función de la población lograda</u>	21
4.2.9. <u>Desvío estándar del área individual en función de la población</u>	22
4.2.10. <u>Efectos en el rendimiento individual</u>	23
4.2.10.1. Relación entre el numero de silicuas y el rendimiento por planta.....	23
4.2.10.2. Relación del área individual con el número de silicuas y rendimiento por planta.....	24
5. <u>CONCLUSIONES</u>	26
6. <u>RESUMEN</u>	27
7. <u>SUMMARY</u>	28
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	29
9. <u>ANEXOS</u>	34

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Figura No.	Página
1. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo y la serie 2002-2014.....	11
2. Índice de balance hídrico para el periodo mayo-octubre 2015.....	12
3. Estimación del agua disponible (%) en los suelos del Uruguay por sección policial durante los momentos de menor contenido de agua.....	13
4. Temperaturas medias mensuales durante el desarrollo del cultivo en relación a la serie 2002-2014.....	14
5. Radiación media mensual durante el desarrollo del cultivo comparado con la serie 2002-2014.....	15
6. Rendimiento medio según material.....	16
7. Población media y error estándar según material.....	16
8. Rendimiento en función de la población.....	17
9. Rendimiento por unidad de superficie en función del área media individual disponible para cada planta.....	18
10. Desvío estándar del área individual en función del rendimiento.....	19
11. Distancia media entre plantas en función del rendimiento.....	20
12. Rendimiento en función del desvío estándar de la distancia media entre plantas.....	21
13. Desvío estándar de la distancia entre plantas en función de la población lograda, según material utilizado.....	22
14. Desvío estándar del área individual en función de la población.....	23
15. Relación entre el número de silicuas por planta y el rendimiento individual....	24
16. Relación del área individual con el número de silicuas y el rendimiento por planta.....	25

1. INTRODUCCIÓN

La colza es una oleaginosa de ciclo invernal, perteneciente a la familia de las *Crucíferas* y al género *Brassica* originaria de Asia. Dicho cultivo comprende varias especies: *B. napus*, *B. juncea*, *B. rapa* (ex *Campestris*), *B. carinata*, entre otras. Los usos del aceite de colza han sido muy variados a lo largo de la historia. Se utilizó como aceite industrial, para iluminación, como aceite lubricante para metales en ambientes de alta humedad o en contacto con el agua. Finalmente, en Canadá, en 1960 comenzó con una labor de mejoramiento orientada a obtener aceite comestible lográndose, en 1974 el desarrollo del primer cultivar de Canola ("Canadian Oil Low Acid") caracterizado por presentar bajos contenidos de ácido erúico en aceite y glucosinolatos en la torta (Iriarte y Valetti, 2002).

En la actualidad el cultivo ocupa el segundo lugar en la producción mundial de oleaginosas (USDA, 2018). En Uruguay, durante el ejercicio agrícola 2017-2018 se sembraron 53.000 hectáreas de colza, con un rendimiento promedio de 981 kg ha⁻¹ (MGAP. DIEA, 2018). Este impulso del cultivo de colza se debe, en parte, a la producción de biocombustibles y aceite, de alto valor nutritivo para consumo humano. A su vez, la inclusión de este cultivo a la rotación, tiene una serie de ventajas: desde el punto de vista sanitario cortando el ciclo de enfermedades (necrotróficas) de los cereales de invierno, control de malezas gramíneas y un largo de ciclo que permite el doble cultivo con un rastrojo de fácil manejo.

El objetivo de esta tesis, es determinar el impacto de la densidad y distribución de plantas, sobre el rendimiento del cultivo, tanto en el rendimiento individual como en el rendimiento por hectárea.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN EL RENDIMIENTO DE COLZA

Las condiciones ambientales y la genética del cultivo son las determinantes del potencial de rendimiento. En este capítulo se detalla el efecto de las condiciones ambientales en el rendimiento potencial del cultivo. Loomis y Connor (1992) definen el rendimiento potencial como el determinado por las características fisiológicas y fenológicas de la planta, radiación interceptada, temperatura y concentración de CO₂. El rendimiento alcanzable limitado por agua o por agua y nutrientes, y el rendimiento actual, como el obtenido con el manejo que se aplica en la actualidad en condiciones comerciales, en las que actúan factores reductores, referidos a la protección de rendimiento (malezas, plagas y enfermedades).

La densidad de siembra y la uniformidad son medidas de manejo que permiten aprovechar las condiciones que presenta cada ambiente. Olsson, citado por Kutcher et al. (2009), determinó que el número de silicuas por planta es influenciado principalmente por las condiciones ambientales, y tiene el mayor efecto sobre el rendimiento. Weymann et al. (2015), determinaron que el rendimiento de la planta está limitado por la falta de fotoasimilados principalmente durante la fase reproductiva. En ello reside la importancia de las condiciones ambientales como radiación, temperatura y humedad, así como el área foliar existente. En un experimento, estos autores obtuvieron como resultado que las condiciones ambientales explicaron el 39% de los rendimientos obtenidos. En acuerdo con Mendham y Salisbury (1995), observaron que el área foliar generada previa a floración tiene efecto significativo en el rendimiento.

El periodo crítico para la determinación del rendimiento de colza ocurre desde el inicio de la floración hasta el final del periodo de fijación de granos (Champolivier y Merrien, 1996). Cualquier factor que reduzca la tasa de crecimiento del cultivo durante este periodo afectará el rendimiento alcanzado (Coll, 2012). Champolivier y Merrien (1996), concluyen que la falta de agua entre los estados de antesis y comienzo de maduración de las primeras 10 silicuas, dependiendo del momento, generan un menor número de granos, peso de granos, número de silicuas y contenido de aceite. Un experimento llevado a cabo por Kirkegaard et al. (2018), aplicando diferentes tiempos de sombreado, determinaron el periodo crítico, en 300°Cd después de BBCH60 (inicio de floración). En el mismo, las reducciones en el rendimiento se explican casi por completo por la reducción en el número de granos que alcanzó un máximo de 50-55% en el período crítico.

La ubicación del periodo crítico para la determinación del número de granos del cultivo de colza (la floración) queda acotada, por un lado, por la ocurrencia de las últimas heladas, que provocan pérdidas de órganos vegetativos y reproductivos, y por

otro lado las elevadas temperaturas del final de la primavera, que afectan la fertilidad floral y la duración de la etapa de fijación de granos (Coll, 2013). Un estudio previo de Coll (2012), al analizar los ensayos de evaluación de cultivares de colza se encontró que la fecha de inicio de floración explicaba un 66% de la variación en rendimiento, observándose una reducción del 2% del rendimiento por día de retraso a partir del 29 de agosto.

2.2. COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO

El rendimiento es el producto de la cantidad de silicuas por unidad de superficie, la cantidad de granos por silicua y el peso individual de los granos. Las etapas que involucran el desarrollo de los componentes del rendimiento antes mencionados ocurren sucesivamente, sobreponiéndose en algunos momentos. Esto da origen a una gran competencia dentro de la planta, no sólo entre elementos de una misma etapa fenológica (entre flores, silicuas y semillas) sino también entre elementos de distintas etapas (flores-silicuas, silicuas-semillas y semillas-flores). Las variaciones en los componentes del rendimiento y, por tanto, en el rendimiento propiamente dicho, se explican por la manera en que ocurre esta sucesión, por las condiciones del cultivo y por las condiciones ambientales (Martino y Ponce de León, 1999).

Existe una alta correlación entre número de granos y rendimiento. Dicha variable explicó en 99 y 96% de la variación del rendimiento para Hyola 575 y Rivette respectivamente (Fernández et al., 2014). El componente número de granos tiene una estrecha correlación positiva con el número de silicuas por planta por lo que cuanto mayor número de silicuas por metro cuadrado, mayor rendimiento.

El número de silicuas por planta está correlacionado negativamente con la cantidad de semillas por silicua y con el peso individual de éstas. El tamaño de las semillas también puede verse reducido si la cantidad de éstas por unidad de superficie es excesiva con respecto a lo que el cultivo puede soportar (Martino y Ponce de León, 1999). Sin embargo, según Agosti (2011), la variación del peso de mil semillas tiene un rango de variabilidad estrecho ($CV=5,6\%$).

2.3. ARREGLO ESPACIAL Y UNIFORMIDAD

Para el caso de cultivos agrícolas, la uniformidad se refiere, a la variabilidad de la distancia entre plantas en cultivos sembrados en hileras (Satorre et al., 2003). La densidad y geometría de siembra debe permitir establecer una población de plantas capaz de interceptar la mayor parte de la radiación incidente durante los periodos críticos (Dosio y Aguirrezabal, citados por Tesouro et al., 2011). La uniformidad del cultivo impulsa la explotación óptima de los recursos del ambiente, evitando una excesiva competencia por los recursos o la falta de esta por espacios vacíos (López Pereira et al., 1999).

Habitualmente en situaciones de suelos húmedos, se disminuye la profundidad de siembra, lo cual requiere menor esfuerzo al tractor y permite aumentar la velocidad de siembra. La combinación de escasa profundidad de siembra y elevada velocidad favorecen un incremento en la falta de uniformidad (Bragachini et al., 2012). No lograr individuos homogéneos, puede provocar mermas en el rendimiento del entorno de 7 y 15% en colza (Fernández et al., 2014). Según Menegassi et al. (2011), la uniformidad espacial de las plantas modifica la distribución de las silicuas en el perfil del canopeo promoviendo la sincronización de formación de estas y el desarrollo de los granos. Debido a lo anterior, los granos poseen mayor uniformidad de maduración con mayores contenidos de aceite y proteína. A su vez hay trabajos que muestran que el rendimiento por hectárea aumenta, a medida que disminuye la varianza de las áreas individuales por planta. A menor varianza de las áreas individuales, mayor uniformidad, mejor distribución espacial de las plantas, mayor eficiencia en el uso de los recursos y por tanto, mejores rendimientos por hectárea (Mulle y Heege 1981, Hühn 1999).

Estudios realizados por Kuai et al. (2015), muestran que los diferentes arreglos espaciales producidos por los cambios en la distancia entre filas pueden afectar las relaciones de competencia de recursos. A una misma densidad (45 pl m^{-2}) al aumentar la distancia entre hileras a 25 o 35 cm, se produce menos biomasa por superficie y el rendimiento por hectárea disminuye, al no utilizar de manera eficiente los recursos naturales como la radiación, el agua y los nutrientes. Por otro lado, filas muy angostas pueden resultar en una severa competencia por los recursos. Se observó que el mayor rendimiento por unidad de superficie se obtiene cuando se asemeja la distancia entre hileras con la distancia entre plantas. Este arreglo espacial genera los menores indicadores individuales (biomasa de planta, silicuas por planta, granos por silicua y peso de mil semillas), pero los mejores valores por unidad de superficie (biomasa producida y rendimiento). Estos estudios concuerdan con los de Angadi et al. (2003), donde muestran que la uniformidad puede explicar el rendimiento únicamente en un 9,8 % de los casos, mientras que la densidad lo hace en el 89% restante. Poco se puede lograr mejorando mecanismos y condiciones de siembra que permitan el establecimiento uniforme del cultivo (Hühn, 2001). Esto ha llevado a utilizar densidades altas y amplios rangos de siembra, buscando que, aún con bajos porcentajes de implantación, se logren poblaciones adecuadas. Según datos preliminares locales no hay respuesta a la población en un rango entre 30 y 100 pl m^{-2} (Mazzilli et al., 2017). Por otra parte, Coll (2011), no encontró variaciones significativas de rendimiento en un rango de densidad de 30 a 130 pl m^{-2} .

El rendimiento por unidad de superficie depende de las variables estadísticas (media y varianza) área individual por planta, forma del polígono y posición de la planta dentro de este. En siembras uniformes, el rendimiento por hectárea depende únicamente del área individual por planta y de la forma de los polígonos, al ser un método de arreglo espacial óptimo en cuanto a la excentricidad. Siembras uniformes, con igual densidad, determinan idénticos valores para media y varianza de área individual por planta y

excentricidad óptima, pero es el arreglo espacial el que determina la forma de los polígonos de Thiessen (Griepentrog et al., 2009, 2011). Kristensen et al. (2006), mencionan la importancia de la forma de los polígonos en estos casos de alta uniformidad, y sugiere una variable para caracterizar y poder comparar la forma de los polígonos. La misma se calcula como la relación existente entre el perímetro del polígono con la circunferencia de un círculo de igual área que el polígono. Siempre el perímetro del polígono es superior al largo de circunferencia del círculo formado con igual área que el polígono, ya que el círculo es la figura geométrica con menor relación perímetro/área. Pero la medición de qué tan largo más es el perímetro del polígono en relación al largo de la circunferencia es una manera de caracterizar la forma de los polígonos de Thiessen. La importancia de la forma del polígono radica en que, si bien la colza es un cultivo plástico, el área disponible en un polígono alargado puede ser utilizada únicamente a través de un costo energético extra para la planta. Por lo que, el valor de área individual por planta dejaría de ser un estimativo de los recursos disponible para la misma.

Según Kristensen et al. (2006), la mejor distribución espacial, es aquella que permite el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. Esto implica lograr generar polígonos cuya forma permita que la planta pueda captar nutrientes, agua y luz de toda la superficie que tiene para sí. En resumen, que la distancia máxima y la mínima, desde la planta al perímetro del polígono sean iguales. Esto se logra con formas circulares, por lo que se sugiere que el patrón de distribución ideal es aquel representado por hexágonos equiláteros. Para medir el grado de competencia, Hühn (2003), sugiere también considerar el número de competidores vecinos, su proximidad y su tamaño, así como incluir medidas dinámicas, considerando cambios temporales a lo largo del tiempo, y no únicamente una medición estática en un momento dado.

2.4. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

2.4.1. Siembra e implantación

Los cultivos frecuentemente presentan falta de uniformidad en la distribución de plantas en lotes de producción extensiva manejados en siembra directa. Las deficiencias en el funcionamiento de algunos de los componentes de las máquinas sembradoras, sobre la distribución en el plano horizontal y vertical de las semillas en el suelo, especialmente con velocidades excesivas de siembra, provocan una distribución anormal de plantas en la línea de siembra. Variaciones en la profundidad de siembra, contacto irregular entre el suelo y las semillas, deficiencias de los órganos de corte y apertura de surco, vigor de la semilla entre otras, causan variaciones en la emergencia y desarrollo inicial de las plantas (Bragachini et al., 2012). Bajo sistemas de siembra directa, el cultivo presenta la mayor sensibilidad a las condiciones de implantación. El rendimiento del cultivo antecesor y la especie, definen la cantidad de rastrojo en superficie. Este juega un papel muy importante en el porcentaje de implantación, ya que

modifica en mayor o menor medida la calidad de la siembra realizada (Cencig et al., 2011a). Se puede afirmar que la temperatura del suelo generada por los distintos rastros (maíz y soja) no sería un factor que afecta la implantación del cultivo de colza, al menos para siembras en fecha óptima (Coll, 2012).

En colza es muy importante la profundidad a la que se siembra. No se pueden exceder los 2 o 3 cm. de profundidad, porque disminuye el porcentaje de plantas logradas o se provoca un atraso importante en la emergencia y desarrollo de la planta (Iriarte, 2014). Los problemas de implantación que haya tenido el cultivo tienen incidencia sobre los periodos vegetativos y reproductivos. Por ejemplo, una emergencia desaparece por deficiencias en la regulación de la máquina sembradora donde la compactación no haya sido la adecuada, puede retrasar la emergencia en esa hilera, en algunos casos hasta más de 30 días, originando por consiguiente diferencias en el tiempo de maduración (Iriarte y Valetti, 2013). Cencig y Villar (2011b) determinaron que cuando el antecesor fue maíz las poblaciones de plantas fueron significativamente más bajas que cuando fue soja. Las diferencias en el stand de plantas según el antecesor se dieron a partir de la emergencia por lo que puede suponerse que este tipo de rastrojo, aunque en cantidades similares a los de soja, complicaron la emergencia.

2.4.2. Heladas en implantación

El cultivo de colza es relativamente poco afectado por heladas. El daño debido a esta causa está relacionado principalmente con el estado fenológico del cultivo. En etapa de cotiledones y hasta primera hoja verdadera inclusive, el punto de crecimiento está muy expuesto y las heladas pueden matar la planta. La susceptibilidad se va perdiendo gradualmente a medida que el punto de crecimiento va quedando protegido por las hojas que se van desarrollando. Cuando la planta llega a tener cinco hojas verdaderas es capaz de soportar temperaturas de hasta -10°C, pudiendo morir algunas hojas, pero sin verse afectado el punto de crecimiento (Martino y Ponce de León, 1999).

Los elevados volúmenes de rastrojo de soja no perjudicaron la emergencia del cultivo de colza, pero sí eleva el efecto nocivo de las heladas sobre las plantas. En situaciones de déficit hídrico, las heladas afectaron aún más el desarrollo del cultivo. Bajo estas circunstancias, sería conveniente incrementar la densidad de siembra a valores no usados en los años favorables (Cencig et al., 2011a). El efecto de las heladas sobre el cultivo de colza fue independiente del tipo de rastrojo, dependiendo de la cantidad de este. En años con heladas “suaves” y disponibilidad hídrica suficiente, el daño es menor con respecto a años secos y con heladas de consideración, por lo que un incremento en la densidad de siembra no se refleja en aumentos de rendimiento (Cencig y Villar, 2011b).

2.5. PLASTICIDAD

Las diferencias observadas en los rendimientos aún con iguales poblaciones logradas, llevó a que se investigara sobre los motivos de estas variaciones en los rendimientos. Menegassi, citado por Fernández et al. (2014), muestra que los mecanismos que explican dicha plasticidad son la capacidad de producir más hojas, más ramificaciones de las yemas axilares y más silicuas por planta en situaciones de bajas densidades. Esta plasticidad también se expresa en componentes numéricos del rendimiento, como un aumento del número de silicuas por planta en siembras de baja densidad y una mayor ramificación. Martino y Ponce de León (1999) muestran que una restricción en la producción de flores seguida de condiciones favorables de crecimiento, producirá un cultivo con pocas silicuas, pero con más granos y de mayor peso individual. Por su parte, Weymann et al. (2015), observaron un efecto de compensación entre los componentes del rendimiento, que difiere según las condiciones ambientales existentes. Según Lardon y Triboi-Blondel (1995) algunas flores y silicuas perdidas al comienzo de la floración pueden ser compensadas por silicuas de las ramificaciones laterales, de manera que el rendimiento es poco afectado por las heladas. Guigou y Schenk (2017) concluyeron que las áreas halladas para cada planta ponen de manifiesto la mejor distribución que tienen las plantas sembradas a 17 cm, ya que el rendimiento por planta promedio permanece constante al variar el área. Sin embargo, el área influye en el desempeño de las plantas sembradas en hileras a 34 cm, dado que tienden a rendir más cuando el área aumenta, compensando así el menor número de plantas, lo que nuevamente mantiene incambiado el rendimiento por unidad de superficie. Concordando con Marjanović – Jeromela, citado por Vujaković et al. (2015), se observó que una disminución de la densidad de plantas de colza, determinan que las mismas tienden a ramificarse y de esta manera compensan la falta de plantas.

Angadi et al. (2003), observaron que la colza es plástica en un amplio rango de poblaciones, pero no compensa totalmente en bajas poblaciones. Un factor que afecta la plasticidad, son las condiciones ambientales. Cuando son favorables, el cultivo expresa toda su plasticidad y no se dan cambios de rendimientos para densidades de entre 20 y 80 pl m⁻². Por otro lado, en condiciones adversas los rendimientos cayeron con poblaciones inferiores a 40 pl m⁻², independientemente del arreglo espacial. La distribución espacial también afecta la plasticidad, en condiciones ambientales subóptimas. Cuando el arreglo era uniforme, los rendimientos fueron similares para densidades de entre 40 y 80 pl m⁻², pero se perdió rendimiento cuando la población no se distribuyó uniformemente.

2.6. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA UNIFORMIDAD

Los métodos más difundidos en la bibliografía para cuantificar el efecto de la uniformidad sobre el rendimiento en el cultivo de colza son: polígonos de Thiessen (Hühn 2003, Griepentrog et al. 2011), raleo manual (Yang et al., 2014) y M.I.D. =

Morisita's Index of Dispersion (Kristensen et al., 2006). El primero consiste en delimitar zonas de influencia a partir de bisectrices entre plantas vecinas, determinando así un conjunto de áreas mutuamente excluyentes. El raleo manual, se realiza eliminando individuos manualmente para generar distintos niveles de uniformidad. Por último, Kristensen et al. (2006), definieron un índice de dispersión, basado en la media y la varianza en el número de individuos existentes en cada cuadrante. Significa realizar subdivisiones cuadriculadas y calcular los indicadores estadísticos para la base de datos, generada a partir del número de individuos en cada subdivisión.

Los polígonos de Thiessen permiten determinar media y coeficiente de variación de las áreas individuales por planta, la forma y la excentricidad de la planta en el polígono, mientras que M.I.D., permite únicamente determinar las variables estadísticas de área individual. Para la determinación del arreglo espacial, se debe determinar la forma de los polígonos, así como su excentricidad.

Se plantea, en base a la bibliografía, la hipótesis del presente estudio: existe relación entre la uniformidad de distribución de plantas y su rendimiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El trabajo de tesis se llevó a cabo en la zafra de invierno 2015, en la estación experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), ubicada en el departamento de Paysandú. El suelo corresponde a un Brunosol éutrico típico, unidad San Manuel.

El experimento se sembró el 21 de mayo de 2015, y consistió en un muestreo aleatorio, utilizando 2 materiales de colza (Hyola 575 CL y Rivette), en 8 parcelas por material, de 1,02 m de ancho y 7 m de largo en 2 bloques. Los ensayos fueron fertilizados de forma que los rendimientos no estuvieran limitados por nutrientes y las plagas y malezas fueron manejadas para que no interfirieran con los resultados. La baja implantación lograda en el experimento, aspecto que es ampliamente mencionado en la bibliografía, generó distintos valores de plantas logradas en cada parcela y con una distribución con distintos niveles de uniformidad.

A madurez fisiológica se midieron para las 6 hileras, las distancias entre cada planta en la fila y para las 2 centrales además se midió número de silicuas y rendimiento por planta en los 2 m centrales.

3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Al medir la distancia entre cada planta de interés y sus vecinas fue posible calcular polígonos de Thiessen y su área mediante la utilización del programa ArcMap (Anexo No. 1). De esta manera se cuenta con una estimación del área por planta y por ende la superficie disponible para hacer uso de los recursos. Vale destacar que se eliminaron aquellos datos de plantas ubicadas en el borde de la parcela, en los que no se logró delimitar un área asignada. El área de los polígonos, rendimiento y número de silicuas de cada planta permite el estudio del comportamiento del cultivo a nivel poblacional como individual. A nivel poblacional, se pueden determinar las relaciones entre población lograda y rendimiento por parcela, considerar el efecto del área media individual por planta en el rendimiento por unidad de superficie y observar el efecto de la uniformidad en el rendimiento. A nivel individual, los polígonos de Thiessen permiten identificar relaciones entre componentes numéricos del rendimiento y el tamaño del área asignada que presenta dicha planta, así como el efecto de la uniformidad en el rendimiento individual. Como forma de analizar la uniformidad de plantas logradas, y su efecto en el rendimiento, se analizó la variación en el rendimiento en función del desvío estándar del área individual, y rendimiento en función del desvío estándar de la distancia media entre plantas.

El análisis estadístico se basó en análisis de varianza y regresiones lineales entre estas variables. Para el mismo, se utilizó el programa InfoStat. En primer lugar, se

analizaron datos poblacionales (medias de las parcelas) y luego los individuales. Respecto al efecto de la población lograda en el rendimiento, se realizó un análisis de la varianza, tomando como variables de clasificación “Bloque” y “Material”. Para el análisis individual, se utilizaron regresiones lineales. Como variable dependiente se seleccionó el rendimiento individual (peso de silicuas), y como variables regresoras se utilizó el área media individual y la distancia media entre plantas, así como también el desvío estándar de estas dos variables.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

4.1.1. Registros climáticos de la estación experimental

4.1.1.1. Precipitaciones

Las condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo (21/5 al 10-26/10) parecen no haber sido deficitarias, si bien solo en el mes de agosto las precipitaciones exceden a las registradas en la serie 2002-2014, donde fueron un 293 % superiores a la media esperada (Figura No. 1). Esto hace que, en los meses de septiembre y octubre, donde se registran precipitaciones inferiores a las de la serie, no se evidencien condiciones de estrés hídrico (Figura No. 2).

A partir del mes de agosto, es cuando el cultivo inicia la etapa de floración. De floración a madurez es el periodo más sensible a la falta de agua, particularmente entre comienzo de floración y la formación de las primeras silicuas. En caso de ocurrir un déficit en ese momento, las hojas entrarán prematuramente en senescencia, se verá reducido el número y tamaño de racimos, el tamaño de y cantidad de silicuas por racimo y el tamaño y cantidad de semillas por silicua (Martino y Ponce de León, 1999). En este sentido, las menores precipitaciones registradas en junio y julio no serían de mayor importancia para explicar el rendimiento obtenido.

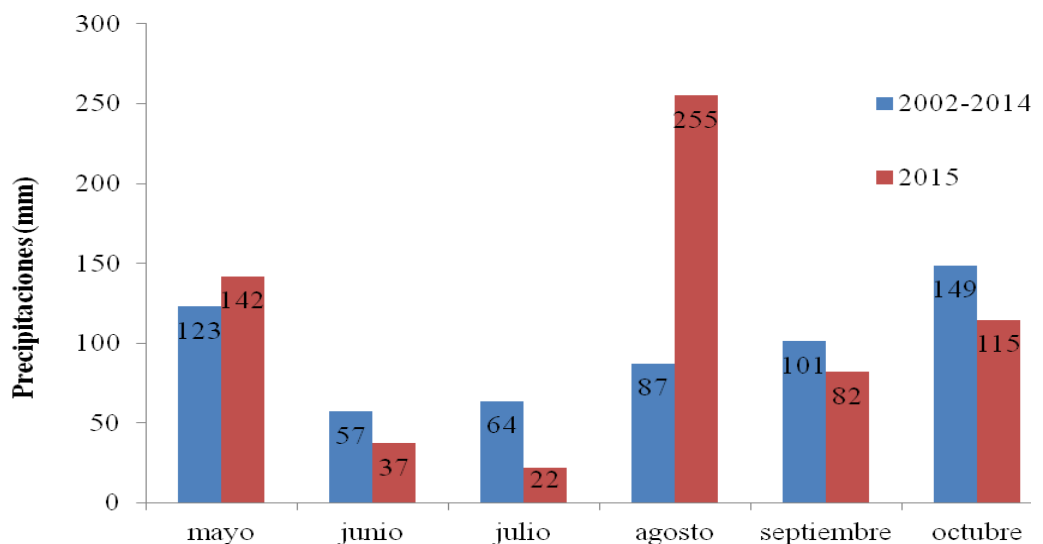


Figura No. 1. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo y la serie 2002-2014

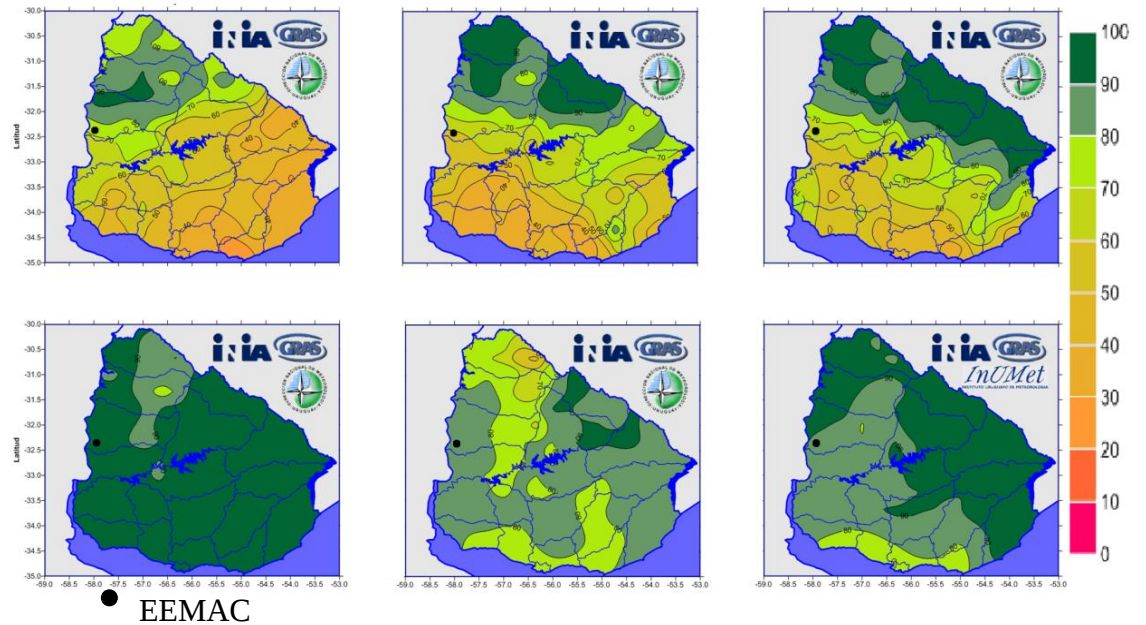


Figura No. 2. Índice de balance hídrico para el periodo mayo–octubre 2015.

En concordancia con lo mencionado anteriormente, no se registró déficit hídrico durante el ciclo del cultivo. Según el Índice de Balance Hídrico (IBH) registrado (INIA, 2015) durante junio y julio (Figura No. 2), donde el promedio se ubicó entre los valores de 60 a 80 %. En los siguientes meses, el rango mínimo de IBH se sitúa entre 80 a 90%. Según Weymann et al. (2015), el estrés por sequía está presente cuando el contenido real de agua del suelo promedio para cada fase fenológica fue menos del 40% del contenido de agua disponible, porcentaje que según INIA. GRAS (2015) no fue inferior durante el desarrollo del cultivo (Figura No. 3).

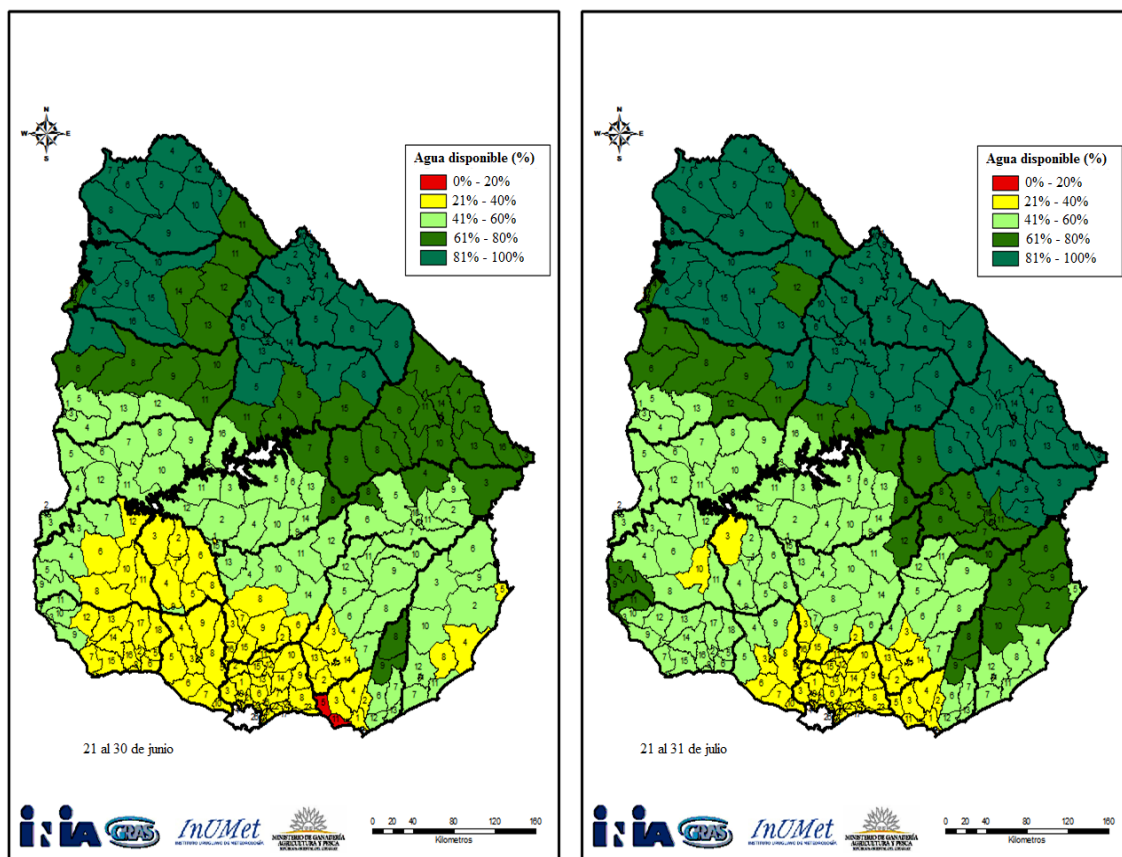


Figura No. 3. Estimación de agua disponible (%) en los suelos del Uruguay por sección policial durante los momentos de menor contenido de agua.

4.1.1.2. Radiación y temperatura

Durante el ciclo de desarrollo del cultivo las temperaturas fueron mayores a la media de la serie 2002-2014. Esto ubica a las temperaturas registradas, dentro del rango de temperaturas óptimas para el desarrollo de colza (más de 12 °C y menos de 30 °C, Iriarte, 2009). La primavera, sin embargo, fue más templada, reduciendo el riesgo de elevadas temperaturas que afecten negativamente al cultivo de colza, según Aksouh-Harradj et al., citados por Kutcher et al. (2009), un corto periodo de muy alta temperatura en una etapa sensible del desarrollo de colza, como la floración, ha demostrado ser tan crítico para el rendimiento y la calidad de la colza como el estrés por temperaturas bajas durante un periodo más largo. En este sentido, solo en 2 días del ciclo se registraron temperaturas mayores a los 30 °C, ambos episodios registrados en el mes de agosto (Anexo No. 2).

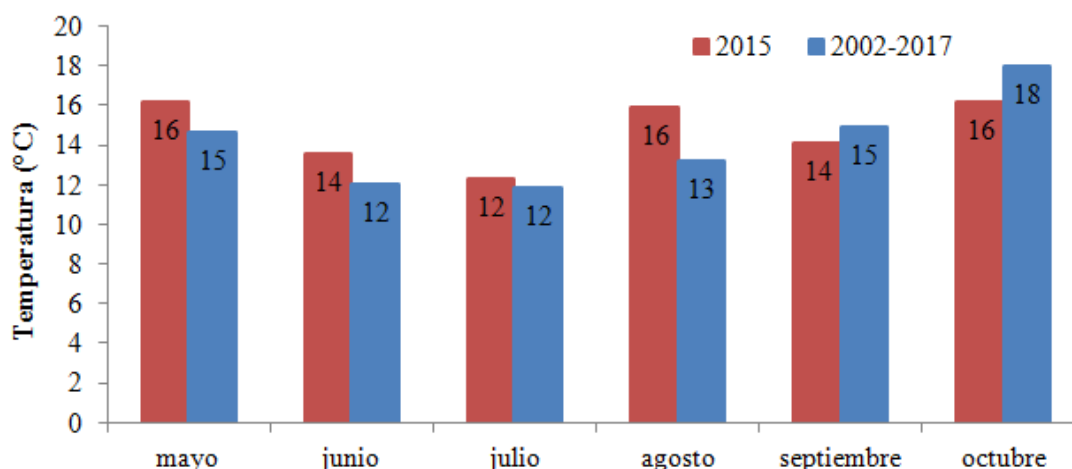


Figura No. 4. Temperaturas medias mensuales durante el desarrollo del cultivo en relación a la serie 2002-2014

Durante el mes de agosto, se registró una menor radiación incidente producto de las continuas precipitaciones, lo que parece haber sido una limitante para alcanzar altas tasas de crecimiento del cultivo en ese periodo. En el mes de septiembre, la radiación es igual a la registrada en la serie, pero como se vio anteriormente, la temperatura en este mes fue menor, por lo que las condiciones para el crecimiento del cultivo fueron mejores.

Teniendo en cuenta las ausencias de déficits hídricos, las condiciones de temperatura y radiación en torno al periodo crítico definieron un año con un buen potencial de rendimiento para el cultivo.

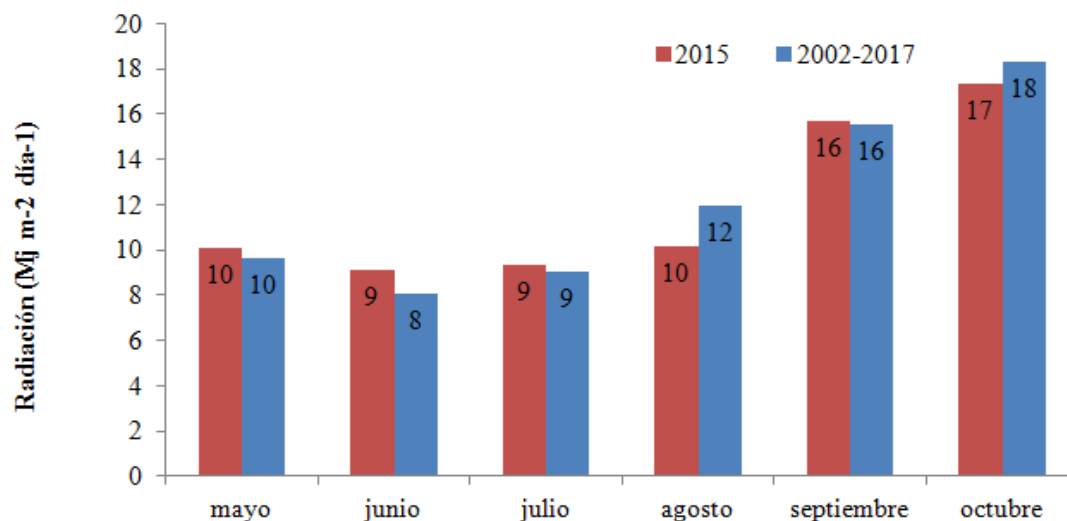


Figura No. 5. Radiación media mensual durante el desarrollo del cultivo comparado con la serie 2002-2014

4.2. RESULTADOS GENERALES

4.2.1. Rendimiento por unidad de superficie

Los rendimientos medios obtenidos en el experimento no fueron diferentes en términos estadísticos entre materiales (Figura No. 6, p-valor < 0,1513). Estos rendimientos son elevados en comparación con la tesis realizada por Guigou y Schnek (2017), donde el rendimiento promedio para el tratamiento a 0,17 metros de distancia entre hileras fue 1056 kg ha⁻¹. Por otro lado, Fernández et al. (2014), obtuvieron rendimientos con medias similares a los obtenidos en este experimento, tanto en la EEMAC como en Colonia Valdense. No se obtuvieron diferencias significativas en rendimiento para ambos materiales, siendo Hyola 575 un híbrido y Rivette una VPA, ambos de ciclos similares.

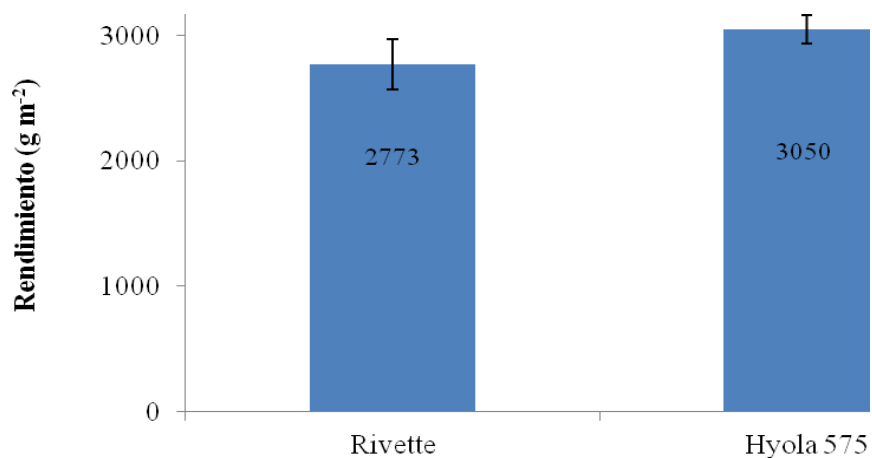


Figura No. 6. Rendimiento medio según material

4.2.2. Población lograda

No se detectaron cambios en la población media lograda entre los distintos materiales evaluados (p valor $< 0,2623$) y la diferencia en valores absolutos observada entre las medias del parámetro pl. m⁻² (63,4 en Rivette vs. 83,3 en Hyola 575), no son estadísticamente significativos (Figura No. 7).

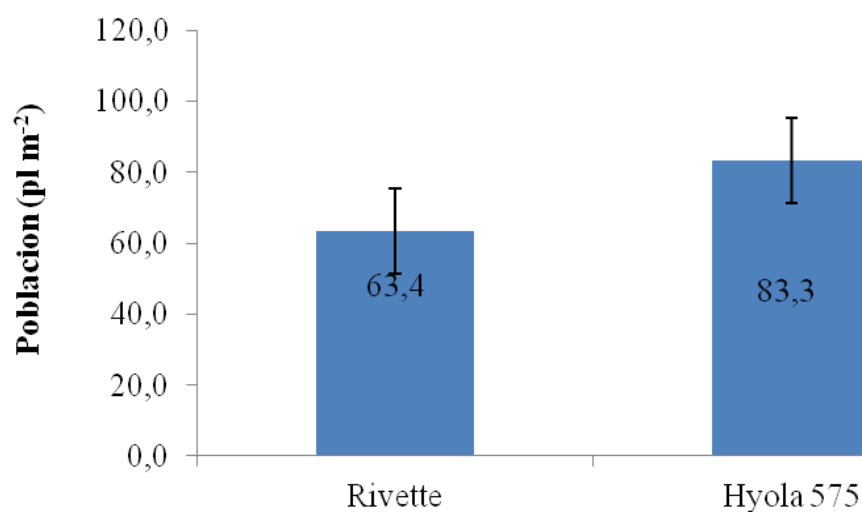


Figura No. 7. Población media y error estándar según material

4.2.3. Efecto de la población de plantas en el rendimiento

No se evidenciaron cambios en el rendimiento en función de las plantas logradas por unidad de superficie. Para el rango de población analizado (desde 26 a 153 pl m^{-2}), los rendimientos logrados no se correlacionan con la población de plantas ($R^2 = 0,12$; p valor $< 0,1035$). Estos resultados confirman los resultados locales reportados por Fernández et al. (2014), Guigou y Schnek (2017) y varios resultados internacionales que muestran la escasa respuesta del rendimiento del cultivo a los cambios en la población a cosecha (Angadi et al. 2003, Coll 2011, 2012a).

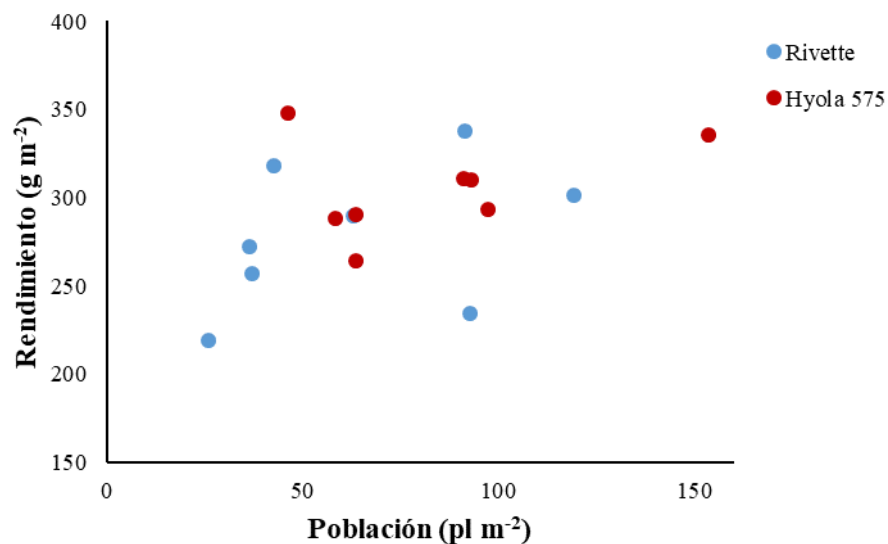


Figura No. 8. Rendimiento en función de la población

4.2.4. Cambios en el rendimiento en función del área individual media por planta

No se detectaron cambios relevantes entre la variación del área media individual por planta y el rendimiento alcanzado, para ambos materiales (Figura No. 9). El área media individual depende de la densidad de plantas logradas: a menor densidad, mayor es el valor del área media individual, por lo que este resultado se corresponde con el análisis de población en función del rendimiento. Existe una tendencia estadística (p -valor 0,047), de baja asociación entre las variables, ya que explica únicamente un 20% ($R^2 = 0,20$), de las variaciones en el rendimiento.

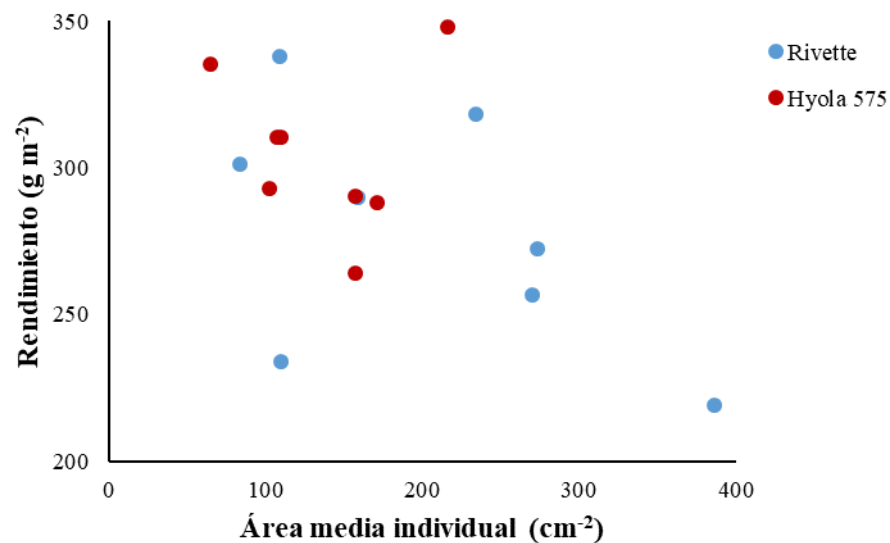


Figura No. 9. Rendimiento por unidad de superficie en función del área media individual disponible para cada planta

4.2.5. Rendimiento en función de variaciones del área media individual (uniformidad)

Se observa que, para distintos valores de desvío estándar del área individual, el rendimiento no presentó variaciones. Parcelas con altos desvíos estándar del área individual, generaron los mismos rendimientos por unidad de superficie que parcelas más uniformes ($R^2 = 0,07$; p-valor 0,1649, Figura No.10). Angadi et al. (2003), muestran que la uniformidad puede explicar el rendimiento únicamente en un 9,8 % de los casos. Sin embargo, en este experimento, la uniformidad no tuvo relación con el rendimiento.

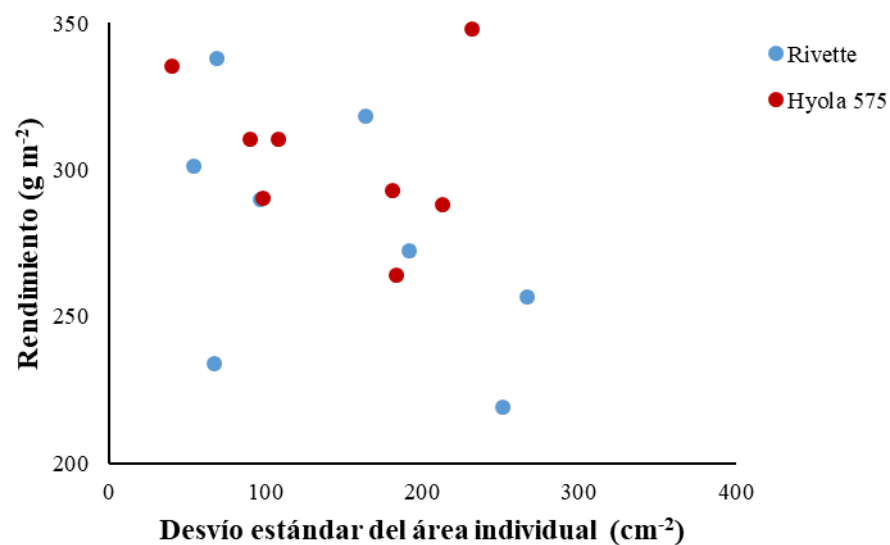


Figura No. 10. Desvío estándar del área individual en función del rendimiento

4.2.6. Rendimiento en función de la distancia media entre plantas de la misma hilera

Otra forma de analizar el efecto de la población en el rendimiento es a través de la distancia media entre plantas de una misma hilera. A menor distancia media, mayor es la densidad en la hilera, y por tanto en la parcela. No se encontró relación entre rendimiento y distancia media entre plantas ($R^2 = 0,18$; p-valor= 0,0573, Figura No. 11), contradiciendo los resultados de Kuai et al. (2015), donde la distancia entre plantas dentro de la hilera a igual población era uno de los factores que afectaban el rendimiento.

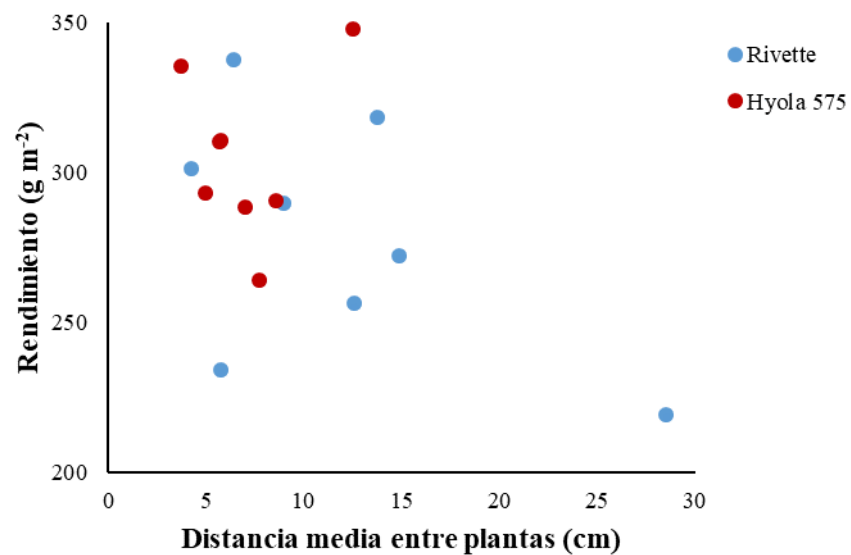


Figura No. 11. Distancia media entre plantas en función del rendimiento

4.2.7. Rendimiento en función del desvío estándar de la distancia media entre plantas

El efecto de la uniformidad en el rendimiento se puede analizar a través del estudio de cambios en el rendimiento en función del desvío estándar de la distancia media entre plantas de la misma hilera. El resultado obtenido demuestra que, en el experimento realizado, no se evidencian cambios en el rendimiento para distintos niveles de uniformidad en la hilera ($R^2_{aj} = 0,00$; $p\text{-valor} = 0,322$, Figura No. 12).

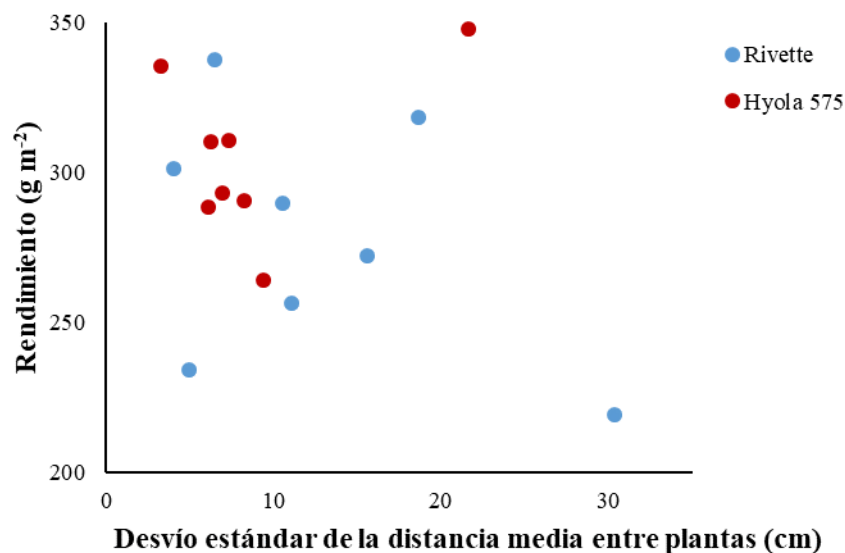


Figura No. 12. Rendimiento en función del desvío estándar de la distancia media entre plantas.

4.2.8. Desvío estándar de la distancia entre plantas en función de la población lograda

Analizando la relación entre el desvío estándar de la distancia entre plantas, en relación con la población, se observó que, al aumentar la población, el desvío estándar disminuye, por lo que aumenta la uniformidad (Figura No. 13). Según los estudios de Kuai et al. (2015), el mayor rendimiento por unidad de superficie se obtiene cuando se asemejan la distancia entre plantas con la distancia entre hileras. Sin embargo, esto no se observó en el experimento, ya que la distancia entre plantas no tiene relación con el rendimiento.

Hay que tener en cuenta que la distancia media entre plantas depende de la población: a menor densidad, mayor es el valor de la distancia media entre plantas. Cuando la cantidad de elementos a analizar (número de plantas) es alta, el desvío estándar del parámetro es menor. Si existe una baja cantidad de individuos por unidad de superficie, el desvío estándar de la distancia entre plantas tiende a ser superior.

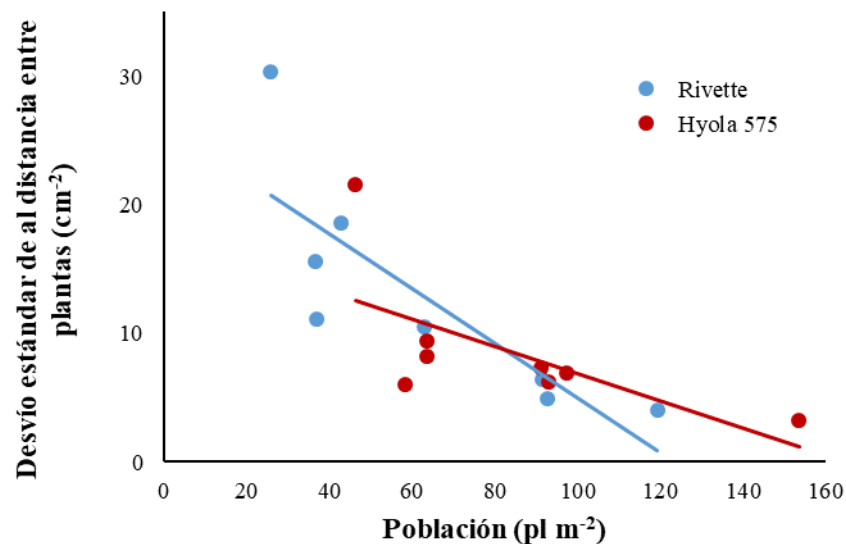


Figura No. 13. Desvío estándar de la distancia entre plantas en función de la población lograda.

4.2.9. Desvío estándar del área individual, en función de la población lograda

Al estudiar la relación entre variaciones en el área individual en función de la población, se observó que, para un mismo valor de plantas por metro cuadrado, el material Rivette presento un desvío estándar del área individual menor. Esto es producto de una distribución espacial más uniforme que Hyola 575 ($R^2 = 0,79$ y $0,56$ para Rivette y Hyola 575 respectivamente). Relacionado con la distancia media entre plantas y las características climáticas del año, se puede decir que, para distribuciones no uniformes, la distancia entre plantas no es el factor reductor del rendimiento. Esto concuerda con lo afirmado por Angadi et al. (2003), donde en condiciones ambientales favorables, el cultivo expresa toda su plasticidad y no se dan cambios en el rendimiento en un amplio rango de poblaciones.

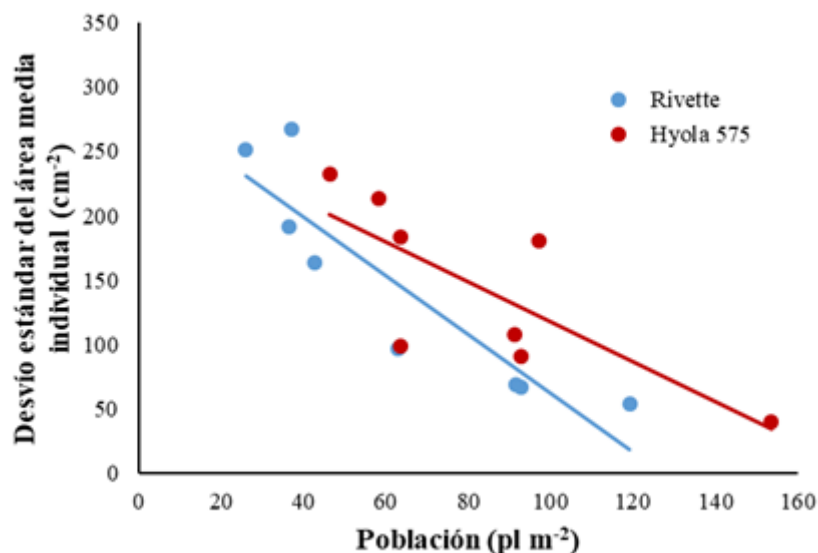


Figura No. 14. Desvío estándar del área individual, en función de la población

4.2.10. Efectos en el rendimiento individual

El rendimiento individual está dado por el número de silicuas, así como el peso de estas. A continuación, se analizan ambas relaciones, así como el efecto del área individual sobre estos componentes.

4.2.10.1. Relación entre el número de silicuas y el rendimiento por planta

El componente número de silicuas tuvo una estrecha correlación con el rendimiento por planta (Figura No.14), para ambos cultivares. Esto indica que cuanto mayor número de silicuas por metro cuadrado se traducirán en un aumento del rendimiento, por un mayor peso de granos por unidad de superficie. Estos resultados concuerdan con los reportados por Naghizadeh y Hasanzadeh (2012), quienes indican que el principal componente del rendimiento en colza es el número de silicuas fértiles por unidad de superficie.

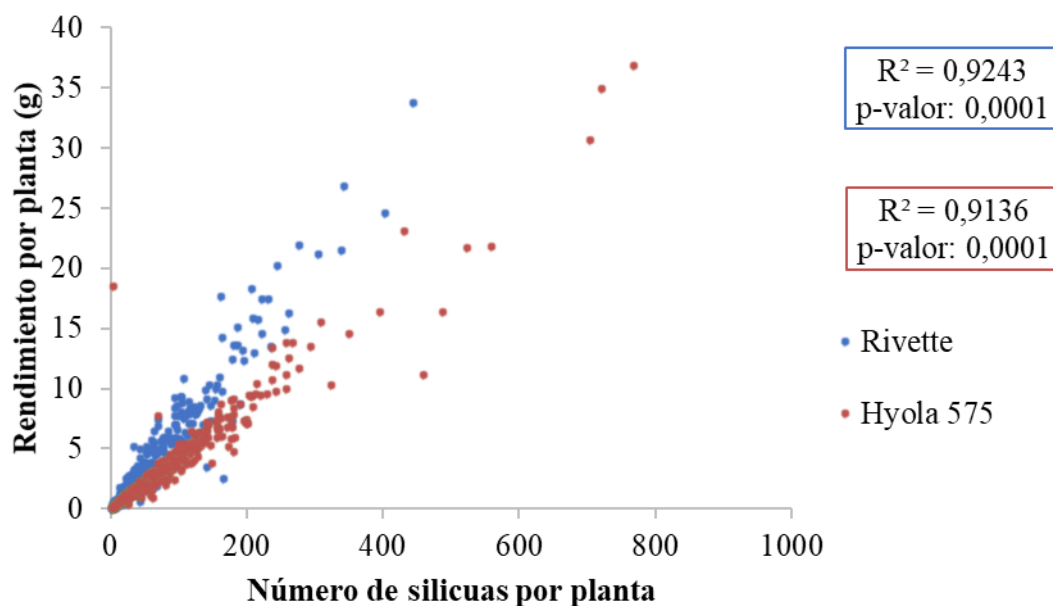


Figura No. 15. Relación entre el número de silicuas por planta y rendimiento individual

4.2.10.2. Relación del área individual con el número de silicuas y rendimiento por planta

El número de silicuas tiene una alta relación con el rendimiento. A mayor número de silicuas por planta, mayor es el rendimiento individual. Se analizó el efecto del área individual de las plantas en el número de silicuas y el rendimiento. No se observa relación entre el área individual por planta con el número de silicuas y rendimiento, esto al observar que plantas con áreas disponibles similares presentaron un muy variado número de silicuas y rendimiento.

Se concluye entonces que existieron otros factores que afectaron la performance de las plantas. Este resultado concuerda con la bibliografía citada, tanto nacional como internacional. El cultivo tiene la capacidad de lograr altos rendimientos aún con áreas individuales bajas, pero no se observa una respuesta en rendimiento al aumentar el área individual de cada planta.

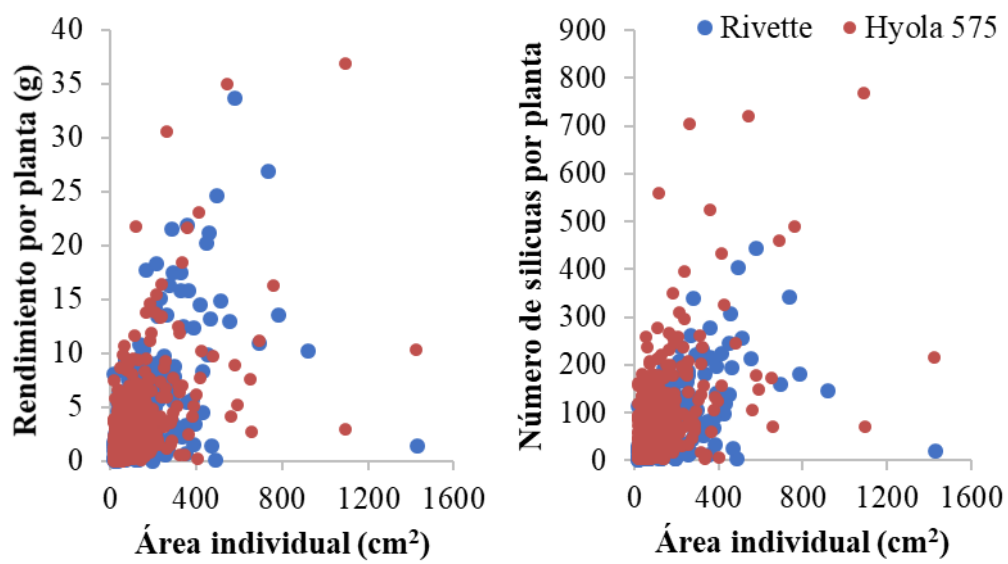


Figura No. 16. Relación del área individual con el número de silicuas y rendimiento por planta

5. CONCLUSIONES

Los componentes que mayormente explicaron las variaciones en el rendimiento fueron el número de silicuas por planta y el peso de estas. Los resultados fueron, en términos generales, coincidentes para ambos materiales. No observándose variaciones en el rendimiento en función del número de plantas por unidad de superficie.

No se detectó respuesta en rendimiento en relación al área individual por planta, esto posiblemente sea explicado por las condiciones en que se desarrollan, ya que en el experimento no se realiza un seguimiento del estado de estas y se cuantifica solo el número final de la población. Esto provoca que se desconozcan los motivos por los que disminuye el stand de plantas inicial y las condiciones en que siguen su ciclo las sobrevivientes. Al no incluir medidas dinámicas, considerando cambios temporales a lo largo del tiempo y no únicamente una medición estática de la población, no se puede cuantificar cual fue la verdadera relación de competencia entre plantas a lo largo de su ciclo.

El análisis de la uniformidad mediante los polígonos de Thiessen es una forma de estimar el área disponible para cada planta. Sin embargo, la bibliografía señala que la forma del polígono y su ubicación en el mismo, son factores muy importantes en el momento de analizar la respuesta vegetal al área disponible. Esto marca que, para futuros experimentos, además de calcular el efecto de la forma de los polígonos, se evalué la excentricidad de los mismos, con el fin de hacer un análisis más profundo del efecto de la distribución de plantas en el rendimiento.

Lo anteriormente desarrollado, nos permite extraer como principal conclusión que para los materiales Rivette y Hyola 575, no hay respuestas en el rendimiento para el rango poblacional de 26 a 119 pl. m⁻² para Rivette y de 46 a 154 pl. m⁻² para Hyola 575, independientemente del nivel de uniformidad obtenido.

6. RESUMEN

El presente trabajo de tesis, llevado a cabo en la zafra de invierno del 2015, tuvo como objetivo cuantificar el impacto de los cambios en la uniformidad de distribución de plantas en la línea sobre el rendimiento del cultivo de colza. Para ello se sembró un ensayo en la EEMAC, donde se realizó un muestreo aleatorizado de los individuos. Se muestrearon 2 bloques de 8 parcelas cada uno, con dos variedades (Rivette y Hyola 575), registrándose a cosecha el valor de sus componentes numéricos. A su vez, se determinó, a partir de la creación de los polígonos de Thiessen, el área individual por planta, para poder cuantificar el impacto sobre el rendimiento de poblaciones con distintos arreglos espaciales. En términos generales, los resultados fueron coincidentes para ambos ensayos. No se observó un aumento del rendimiento con el incremento de la uniformidad en la distribución espacial de los individuos. El efecto de la población coincidió con la bibliografía ya que en un amplio rango de poblaciones no hubo efecto en el rendimiento. Para la variable uniformidad, principal variable de este estudio, no hubo efecto en el rendimiento.

Palabras clave: Colza; Rendimiento; Uniformidad; Arreglo espacial.

7. SUMMARY

This thesis experiment, carried out in the winter harvest of 2015, aimed to quantify the impact of the changes in the uniformity of distribution of plants in the line on the yield of the colza crop. To this end, an essay was sown in the EEMAC, where a randomized sampling of the individuals was carried out. Two blocks of 8 plots each were sampled, with two varieties (Rivette and Hyola 575), registering the value of their numerical components at harvest. In turn, it was determined, from the creation of the Thiessen polygons, the individual area per plant, in order to quantify the impact on the performance of populations with different spatial arrangements. In general terms, the results were coincident for both trials. No increase in yield was observed with the increase of uniformity in the spatial distribution of the individuals. The effect of the population coincided with the literature since in a wide range of populations there was no effect on performance. For the variable uniformity, the main variable of our study, there was no effect on performance.

Keywords: Colza; Performance; Uniformity; Space arrangement.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Agosti, M. 2011. Fertilización nitrógeno-azufrada y variabilidad genotípica en el rendimiento y la calidad de grano en colza-canola (*Brassica napus* L.). Tesis magister. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 130 p.
2. Alves, D. 2000. Colza-canola: una nueva alternativa de invierno. (en línea). Revista del Plan Agropecuario. 90: s.p. Consultado 6 oct. 2014. Disponible en http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R90/R90_51.htm
3. Angadi, S. V.; Cutforth, H. W.; McConkey, B. G.; Gan, Y. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. Crop Science. 43: 1358-1366.
4. Assefa, Y.; Vara Prasad, P. V.; Foster, C.; Wright, Y.; Young, S.; Bradley, P.; Stamm, M.; Ciampitti, I.A. 2018. Major Management Factors Determining Spring and Winter Canola Yield in North America. Crop Science. 58: 1-16.
5. Cencig, G.; Villar, J.; Demarchi, G. 2011a. Implantación de colza en siembra directa. Parte 1: efecto de los rastrojos. (en línea). Rafaela, INTA. 7 p. Consultado 17 abr. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/implantacion-de-colza-en-siembra-directa-parte-1-efecto-de-los-rastrojos>
6. _____.; _____. 2011b. Implantación de colza en siembra directa. Parte 2: efecto del antecesor. (en línea). Rafaela, INTA. 5 p. Consultado 17 abr. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/implantacion-de-colza-en-siembra-directa-parte-2-efecto-del-antecesor>
7. Champolivier, L.; Merrien, A. 1995. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield. Yield components and seed quality. European Journal of Agronomy. 5: 153-160.
8. Coll, L. 2011. Efecto de la densidad de plantas en el rendimiento de colza. (en línea). Paraná, INTA. 5 p. Consultado 5 mar. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-la-densidad-de-plantas-en-el-rendimiento-de-colza>

9. _____. 2012a. Ciclo, densidad y fecha de siembra de colza en relación con el rendimiento. (en línea). Paraná, INTA. 5 p. Consultado 5 mar. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/ciclo-densidad-y-fecha-de-siembra-de-colza-en-relacion-con-el-rendimiento>
10. _____. 2012b. Influencia del rastrojo del cultivo antecesor en la implantación de colza. (en línea). Paraná, INTA. 5 p. Consultado 15 may. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/influencia-del-rastrojo-del-cultivo-antecesor-en-la-implantacion-de-colza>
11. Colomer, J.; Castillo, J.; Iriarte, L.; Villegas, N. 2010. Cultivo de colza bajo riego en Mendoza. Buenos Aires, INTA. 53 p.
12. Fernández, M.; Mattos, I.; Silva, A. 2014. Efecto de la desuniformidad de siembra sobre el rendimiento de colza - canola. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 53 p.
13. Gan, Y.; Harker, K.; Kutcher, H.; Gulden, R.; Irvine, B.; May, W.; O'Donovan, J. 2016. Canola seed yield and phenological responses to plant density. Canadian Journal of Plant Science. 96: 151-159.
14. Griepentrog, H.; Olsen, J.; Weiner, J. 2009. The influence of row width and seed spacing on uniformity of plant spatial distributions. In: International Conference on Agricultural Engineering: Land-Technik (67th., 2009, Hannover). Innovations to meet future challenges. Düsseldorf, VDI Verlag GmbH. pp. 265-270.
15. _____.; _____.; _____. 2011. Simulating the influence of crop spatial patterns on canola yield. Precision Agriculture. 2011: 180–190.
16. Gutierrez Boem, F. H.; Rafil, S.; Porcelli, C. 1996. Note on the effects of winter and spring waterlogging on growth, chemical composition and yield of rapeseed. Field Crops Research. 47: 175-179.
17. Hühn, M. 1999a. Experimental results on the effects of non regular spatial patterns of plants on yield per area. Journal of Agronomy and Crop Science. 182: 89-97.
18. _____. 1999b. Theoretical results on the effects of non regular spatial patterns of plants on yield per area. Journal of Agronomy and Crop Science. 182: 1-7.

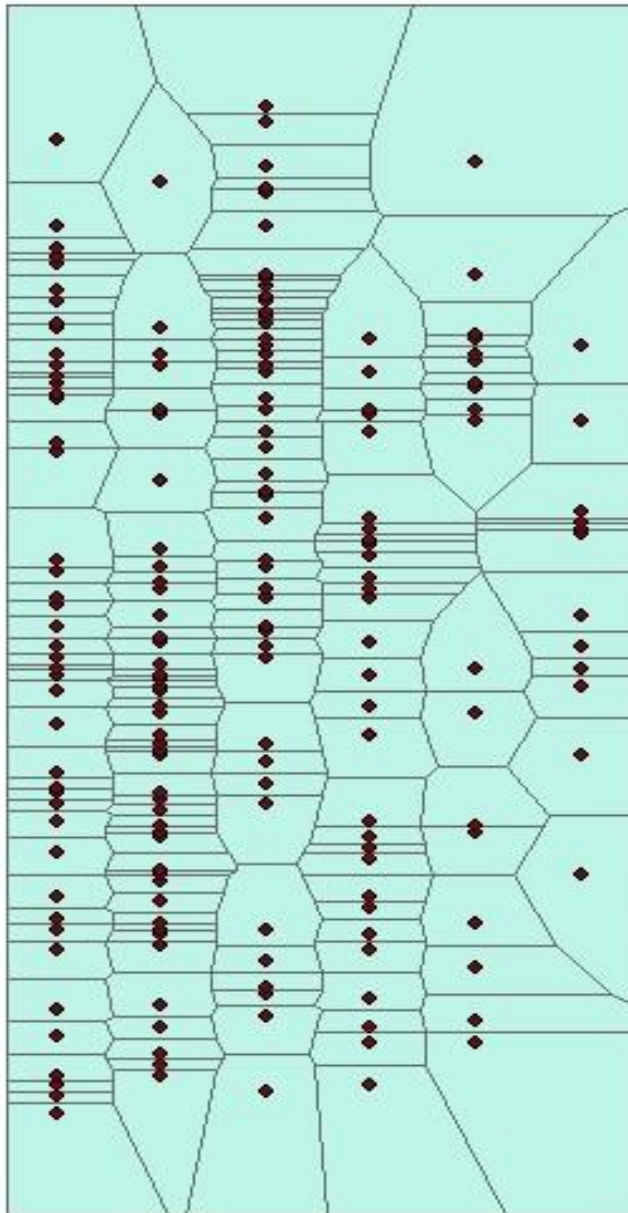
19. _____. 2000. Note on the effect of non regular spatial patterns of plants on yield per area based on a logarithmic relationship between single plant yield and individual area. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 184: 133-136.
20. _____. 2001. Effects of nonregular spatial distribution of plants on yield per area: a theoretical approach with applications to winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 187: 241-250.
21. _____. 2003. Estimating yield depression caused by nonuniformity of spatial plant patterns. *Crop Science*. 43: 421-425.
22. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistema de Información, UY). 2015. Monitoreo ambiental. Balance hídrico suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 23 jul.2019. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Monitoreo-Ambiental/Balance-H%C3%ADrico/Balance-h%C3%ADrico-suelos-Uruguay/Balance-Hidrico-Grilla>
23. Iriarte, L.; Valetti, O. 2013. Colza: determinación del momento de cosecha, métodos. (en línea). Buenos Aires, INTA. 9 p. Consultado 5 mar.2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/colza-determinacion-del-momento-de-cosecha-metodos>
24. _____. 2014a. Cultivo de colza: fecha de siembra, densidad y distancia entre surcos. (en línea). Buenos Aires, INTA. 6 p. Consultado 5 mar. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-colza-fecha-de-siembra-densidad-y-distancia-entre-surcos>
25. _____.; López, Z. 2014b. El cultivo de colza en Argentina: situación actual y perspectivas. (en línea). Buenos Aires, INTA. 11 p. Consultado 8 may. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/el-cultivo-de-colza-en-argentina.-situacion-actual-y-perspectivas>
26. Kirkegaard, J.; Lilley, J.; Brill, R.; Ware, A.; Walela, C. 2018. The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*. 222: 180-188.

27. Kristensen, L.; Olsen, J.; Weiner, J.; Griepentrog, H.; Norremark, M. 2006. Describing the spatial pattern of crop plants with special reference to crop–weed competition studies. *Field Crops Research*. 96: 207–215.
28. Kuai, J.; Sun, Y.; Zuo, Q.; Huang, H.; Liao, Q.; Wu, C.; Lu, J.; Wu, J.; Zhou, G. 2015. The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing. (en línea). *Nature Research. Scientific Reports*. 5 (18835): 1-14. Consultado 1 mar. 2018. Disponible en <https://www.nature.com/articles/srep18835>.
29. Kutcher, H.; Warland, J.; Brandt, S. 2009. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 161-165.
30. Lardon, A.; Triboui-Blondel, A. M. 1995. Cold and freeze stress at flowering effects on seed yields in winter rapeseed. *Field Crops Research*. 44: 95-101.
31. Li, H. J.; Chai, L.; Zhang, J. F.; Pu, X.B.; Jiang, J.; Cui, C.; Zhang, X. H.; Zheng, B. C.; Jiang, L. C. 2016. Consistency of different indices in rapeseed (*Brassica napus*) may predict the waterlogging tolerance. *International Journal of Agriculture & Biology*. 18: 61–67.
32. Loomis, R. S.; Connor, D. J. 1992. *Crop Ecology. Productivity and management in agricultural systems*. Cambridge, UK, Cambridge University. 538 p.
33. López Pereira, M.; Trapani, N.; Sandras, V. 1999. Densidad, distanciamiento entre hileras y uniformidad del cultivo de girasol. *Cuaderno de Actualización Técnica*. CREA. no. 30: 34-39.
34. Martino, D. L.; Ponce de León, F. 1999. *Canola: una alternativa promisorio*. Montevideo, INIA. 98 p. (Serie Técnica no. 105).
35. Mazzilli, S. R.; Locatelli, A.; Fros, D. 2017. Fecha de siembra y arreglo especial, dos aspectos fundamentales para lograr productividad en colza. *In*: Simposio Nacional de Agricultura (5o., Paysandú, Uruguay). *Al futuro no alcanza con llegar*. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 49-56.
36. Mendham, N. J.; Salisbury, P. A. 1995. Physiology: crop development, growth and yield. *In*: Kimber, D. S.; McGregor, D. I. eds. *Brassica Oilseeds: production and utilization*. Wallingford, CABI. pp. 11–64.
37. Menegassi, C.; Gonzales, J. A.; Medeiros, S.; Dalmago, G.; Sartori, C.; Schiavo, J. 2011. Arranjo de plantas na expressão dos componentes da

- produtividade de grãos de canola. (en línea). Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 46 (11): 1448-1453. Consultado 15 may. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n11/v46n11a05.pdf>
38. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017. Encuesta agrícola invierno 2017. Montevideo. 26 p.
39. _____. _____. 2018. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 221 p.
40. Naghizadeh, M.; Hasanzadeh, R. 2012. Effect of plant density on yield, yield components, oil and protein of canola cultivars in Hajiabad. (en línea). Advances in Environmental Biology. 6(3): 1000-1005. Consultado 15 set. 2018. Disponible en <http://www.aensiweb.com/old/aeb/2012/1000-1005.pdf>
41. Satorre, E.; Benech, R.; Slafer, G.; De la Fuente, E.; Miralles, D.; Otegui, M.; Savin, R. 2003. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 783 p.
42. Tesouro, M.; Casartelli, M.; D'Amico, J.; Loyde, G.; Paredes, D.; Roba, M.; Romito, A. 2009. Desuniformidad de distribución de girasol (*Helianthus annuus* L.): impacto sobre la producción individual y el rendimiento del cultivo. (en línea). Buenos Aires, INTA. 8 p. Consultado 14 may. 2018. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/uniformidad-de-siembra-y-rendimiento-del-cultivo-de-girasol>
43. Vera, M.; Vázquez, D.; Stewart, S.; Castro, B.; Castro M. 2014. Resultados experimentales de colza en Uruguay. (en línea). Colonia, INIA. 5 p. Consultado 8 may. 2018. Disponible en [http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Vera1%20-%20Resultados%20experimentales...em%20Uruguay%20\(com%20figuras\).pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Vera1%20-%20Resultados%20experimentales...em%20Uruguay%20(com%20figuras).pdf)
44. Weymann, W.; Bottcher, U.; Sieling, K.; Kage, H. 2015. Effects of weather conditions during different growth phases on yield production of winter oilseed rape. Field Crops Research. 173: 41-48.

9. ANEXOS

1. Ejemplo análisis realizado en ArcMap para la ubicación de cada planta dentro de la parcela.



2. Temperaturas máximas durante el desarrollo del cultivo

