

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA FALTA DE UNIFORMIDAD DE PLANTAS SOBRE EL  
RENDIMIENTO EN COLZA

por

Federico GUIGOU  
Gastón SCHENCK

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2017

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

-----

Ing. Agr. Oswaldo Ruben Ernst Benech

-----

Ing. Agr. Andrés Locatelli Fagúndez

Fecha: 10 de octubre de 2017

Autores: -----

Federico Guigou Benech

-----

Gastón Schenck Forlán

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, amigos y compañeros, que a lo largo de la carrera estuvieron apoyando, brindándose a pleno para así lograr nuestras metas, no queda más que agradecerles ya que son parte fundamental de esto.

También resaltar a nuestro tutor y su equipo de trabajo, Sebastián Mazzilli, Darío Fros y Gastón Sebben respectivamente, sin los cuales, no hubiese sido posible realizar este trabajo, permitiendo poder llevar a cabo esta investigación; colaborando y siendo parte de cada etapa en el presente trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. EFECTO DEL ARREGLO ESPACIAL EN LA ESTRUCTURA DEL CULTIVO .....	3
2.2. ARREGLO ESPACIAL DE PLANTAS Y RESPUESTA EN RENDIMIENTO.....	4
2.3. UNIFORMIDAD.....	6
2.4. MÉTODO DE ESTUDIO: POLÍGONOS DE THIESSEN.....	7
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	9
3.1. LOCALIZACIÓN.....	9
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	9
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	11
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO.....	11
4.1.1. <u>Registros de la EEMAC</u> .....	11
4.1.1.1. Precipitaciones.....	11
4.1.1.2. Radiación y temperatura.....	12
4.2. RESULTADO GENERALES DEL ENSAYO.....	13
4.2.1 <u>Población lograda (porcentaje de implantación)</u> .....	13
4.2.2 <u>Rendimiento por superficie</u> .....	15
4.2.2.1 Componentes del rendimiento.....	15
4.2.2.2 Efecto de la población.....	16
4.2.2.3 Efecto de la distancia entre plantas sobre el rendimiento por unidad de superficie.....	18
4.2.2.4 Influencia del área de los polígonos sobre el rendimiento.....	22
4.2.3 <u>Efecto de los diferentes factores en el rendimiento por                 planta</u> .....	25
4.2.3.1 Relación entre el área y el rendimiento por cada planta.....	26
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	28
6. <u>RESUMEN</u> .....	30

7. <u>SUMMARY</u> .....	31
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	32
9. <u>ANEXOS</u> .....	35

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Población objetivo y porcentaje de implantación para ambas distancias de hileras.....	14
Figura No.	
1. Precipitaciones para el período del ensayo en el que se desarrolló el cultivo, mayo-octubre 2016, en relación al promedio 2002/2015.....	11
2. Radiación media mensual para el período del ensayo en el que se desarrolló el cultivo, mayo-octubre 2016, en relación al promedio 2002/2015.....	12
3. Temperatura para el período del ensayo, mayo-octubre 2016, en relación a la serie histórica 2002-2015.....	13
4. Relación entre el rendimiento ( $\text{g m}^{-2}$ ) y las distancias de hileras empleadas.....	15
5. Relación entre el rendimiento ( $\text{g m}^{-2}$ ) y número de silicuas $\text{m}^{-2}$ .....	16
6. Relación entre el rendimiento y las plantas por unidad de superficie.....	17
7. Relación entre el rendimiento promedio por planta y la población por $\text{m}^{-2}$ .....	18
8. Relación entre el rendimiento $\text{g/m}^{-2}$ y el coeficiente de variación entre plantas.....	19
9. Correlación entre el total de las plantas por $\text{m}^{-2}$ y la variación en la distancia entre cada una de ellas.....	20
10. Relación entre la distancia entre plantas y el rendimiento promedio de las plantas.....	21

11. Relación entre el coeficiente de variación de la distancia entre plantas y el rendimiento promedio de las plantas.....	22
12. Comparación entre dos parcelas a distinta distancia entre fila (izquierda parcela a 34 cm, 33 plantas m <sup>-2</sup> , derecha parcela a 17cm, 25 plantas m <sup>-2</sup> ).....	23
13. Relación entre el rendimiento (g m <sup>-2</sup> ) y el área de los polígonos.....	24
14. Relación entre la variación del área de los polígonos y el rendimiento por m <sup>-2</sup> .....	25
15. Relación entre el número de silicuas y el rendimiento por planta, para Hyola 575 CL.....	26
16. Relación entre el área y el rendimiento de cada planta, tomando el total de las plantas que se midieron.....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

La colza es una oleaginosa de ciclo invernal, perteneciente a la familia de las Crucíferas y al género *Brassica*. Es originaria de Asia y dicho cultivo comprende varias especies: *B. napus*, *B. juncea* y *B. rapa* (ex *Campestris*), *B. carinata*, etc. Por mucho tiempo se destinó fundamentalmente como aceite industrial, para iluminación y como aceite lubricante para metales en ambientes de alta humedad. Hacia la década del 60' en Canadá comienza el mejoramiento genético orientado a obtener aceite comestible (Iriarte y Valetti, 2002).

En 1974, los mejoradores genéticos de la Universidad de Manitoba liderados por el Dr. Baldur Stefanson lograron desarrollar el primer cultivar "double low" (cv. Tower), que producía aceite con bajos tenores de ácido erúcido (menos de 2 %), y harina con menos de 30 micromoles gramo<sup>-1</sup> de glucosinolatos, los dos elementos que determinaban la baja calidad del aceite para consumo humano, y de la harina para consumo animal, respectivamente. El nuevo tipo de colza se denominó "Canola" (Canadian Oil Low Acid), y producía un aceite de alta calidad, que fue rápidamente aceptado por el mercado.

En la actualidad la canola se produce en diversas regiones de climas muy diversos. El principal productor es Canadá con unos veinte millones de toneladas de grano al año, siendo el segundo cultivo en importancia luego del trigo. La canola es también producida en Estados Unidos, Japón, Australia, Brasil y Argentina. El cultivo ocupa el segundo lugar en la producción mundial de oleaginosas (USDA, 2016) detrás de la soja. Su principal producto es el aceite de su semilla, caracterizado por su gran valor nutritivo para consumo humano. Sin embargo, su producción local cobra importancia recientemente, debido al impulso para la utilización de fuentes de energías renovables tales como los biocombustibles.

En Uruguay ocupa actualmente un área 15.551 hectáreas (ALUR, 2016), la que no reportó cambios importantes después de un gran aumento que presentó en la zafra 2015. El cultivo representa una opción atractiva para los sistemas de rotación agrícolas del Uruguay como complemento de los cultivos tradicionales de invierno (trigo y cebada) por poseer una serie de ventajas entre las que se destacan: el corte del ciclo de enfermedades (necrotróficas) de cereales de invierno, control más eficaz de malezas gramíneas, amplio rango de fechas de siembra, diversificación de sistemas de producción, largo del ciclo que permite mantener sistema de doble cultivo y rastreo de fácil manejo.



Sin embargo, a pesar de las ventajas potenciales, su inclusión en los esquemas de rotación ha sido discreta. Posiblemente, una de las principales razones ha sido la falta de bases técnicas que explican la brecha entre los rendimientos potenciales de la especie y los obtenidos a nivel comercial. Dentro de los múltiples factores que explican esta brecha, el proceso de siembra aparece como un momento clave, ya que durante la misma se determina no solo el número potencial de individuos implantados sino además la distribución espacial de estos. Diversos estudios llevados a cabo en Uruguay en la década del 90' muestran que no existen variaciones significativas de rendimiento en un rango poblacional de 70 a 150 plantas  $m^{-2}$ . Por otra parte, no existe a nivel local información acerca de cambios en el rendimiento consecuencia de cambios en la uniformidad de la distribución de plantas en la línea a una población dada.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el impacto de los cambios en la uniformidad de la distribución de plantas, sobre el rendimiento de las parcelas. Para esto se utilizó un ensayo en la EEMAC, correspondiente a distancia entre hileras, donde se asoció el área correspondiente a cada planta con los efectos en los distintos componentes del rendimiento. La pregunta principal que el trabajo intenta responder es la siguiente: ¿el patrón de distribución de las plantas dentro y entre la hilera, es capaz de alterar el rendimiento final del cultivo? A su vez, y no menos importante, la otra pregunta que se intenta responder es: ¿la población empleada, puede llegar a ocasionar cambios en el rendimiento del cultivo? Estas interrogantes se trataran de responder mediante la revisión bibliográfica y el análisis de los datos obtenidos.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. EFECTO DEL ARREGLO ESPACIAL EN LA ESTRUCTURA DEL CULTIVO

Un grado de establecimiento de plantas de canola adecuado y uniforme es fundamental para lograr un alto rendimiento de grano (Sincik, 2010). En tal sentido, Homayounifar et al. (2013), estudiando el efecto de la densidad de plantas de colza en Miandoab, Irán, concluyen que la utilización de la mejor densidad de siembra de colza invernal podría resultar en el establecimiento adecuado de plántulas, y aumentar el rendimiento.

Los diferentes arreglos espaciales producidos por los cambios en el espaciamiento de las hileras pueden afectar las relaciones de competencia de recursos tanto en los niveles intra-específicos como en los inter-específicos. Las plantas que crecen en hileras demasiado anchas pueden no utilizar eficientemente los recursos naturales como la luz, el agua y los nutrientes, mientras que el crecimiento en hileras demasiado estrechas puede resultar en una severa competencia entre hileras. La competencia intra-específica tiene tres efectos: i) la mortalidad dependiente de la densidad, ii) las compensaciones entre el tamaño y la densidad, y iii) las alteraciones de la estructura de la población. Los dos primeros efectos pueden inferirse por los cambios en los componentes del rendimiento promedio, mientras que la distribución del tamaño de las plantas dentro del cultivo proporciona información sobre la estructura de la población (Kuai et al., 2015).

En diversos trabajos y regiones se ha observado 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 (Marjanović - Jeromela et al., citados por Vujaković et al., 2015). A su vez, las plantas al estar menos expuestas a la competencia intra-específica desarrollan mayor masa vegetativa y mayor número de estratos de semillas por planta, pero que maduran de manera desigual (Leach et al., 1999). En contraparte, la siembra excesivamente densa resulta en la reducción del diámetro del tallo de la planta y tales plantas tienden a volcarse (Marjanović-Jeromela et al., citados por Vujaković et al., 2015) y son más susceptibles a las enfermedades y al ataque de plagas (Leach et al., 1999). Todos estos cambios pueden afectar negativamente la calidad y el rendimiento en grano (Vujaković et al., 2015).

En general, la mayor parte del rendimiento final en grano es aportado por el racimo terminal en el tallo principal y silicuas en las ramas primarias. Las silicuas en ramas secundarias son de menor importancia en la determinación del rendimiento en grano en este cultivo (Sincik et al., 2010). En este sentido el número de silicuas por planta es el más sensible de todos los componentes de rendimiento en la canola y está determinada por la supervivencia de las ramas,

yemas, flores y silicuas jóvenes en comparación con el número potencial de flores y silicuas (Shahin y Valiollah, 2009).

## 2.2. ARREGLO ESPACIAL DE PLANTAS Y RESPUESTA EN RENDIMIENTO

Uno de los principales aspectos de la ecología de los cultivos, la producción y la gestión que a menudo limitan la producción de los mismos, es el espaciamiento inadecuado de estos en el campo. El rendimiento en grano es función de la interacción entre los factores genéticos y ambientales, incluyendo el tipo de suelo, la fecha de siembra y el método, la fertilización y el riego, entre los cuales el espaciamiento de hileras juega un papel vital en obtener mayor rendimiento (Shahin y Valiollah, 2009). En concordancia con esto Waseem et al. (2014), afirman que el rendimiento de la colza es una función de la geometría de plantación que es muy plástica y ajustable a través de una amplia gama de poblaciones. Por lo tanto, es de crucial importancia saber cómo manipular el espaciado de hileras con el fin de aumentar la productividad (Kuai et al., 2015).

La colza producida en hileras estrechas (15 cm) generalmente tiene rendimientos superiores cuando las condiciones son favorables. Las hileras estrechas aumentan la intercepción total de luz estacional, hacen un uso más eficiente de la luz disponible y permiten un cierre más rápido del suelo y sombreado de este, mejorando así el control de malezas. El rendimiento de colza típicamente exhibe una respuesta cuadrática a la densidad de plantas, con un aumento casi lineal a través de un rango de densidades bajas, una disminución gradual en la tasa de aumento del rendimiento y, finalmente, un rendimiento máximo a la densidad óptima de la planta, que depende de cultivar, condiciones ambientales y factores agronómicos (Kuai et al., 2015).

Diferentes estudios señalan que el espaciamiento dentro y entre las hileras, constituye un factor fundamental a tener en cuenta en la formación del rendimiento. El trabajo de Kuai et al. (2015) muestra que al aumentar la densidad de siembra (30 – 45 plantas  $m^{-2}$ ), empleando la misma distancia entre hileras, ocasiona que el rendimiento por unidad de superficie aumente, a pesar que el rendimiento por planta se reduce, ya que aumenta la competencia en la hilera y tanto el número de vainas por plantas como la cantidad de semillas y su peso se reducen. En contraparte, al permanecer la densidad de siembra constante y aumentar la distancia de las hileras (de 15 cm a 35 cm), el rendimiento por hectárea disminuye, a pesar que el rinde por planta aumenta significativamente. Esto se explica mediante la competencia intra-específica que se da dentro de la hilera, lo que ocasiona el aumento de la mortalidad de plantas (ver anexo 1).

En dicho estudio, la biomasa acumulada mostró una respuesta a la densidad de plantas y espaciamiento de hileras similar al rendimiento. La variación en la biomasa de la población ( $kg\ ha^{-1}$ ), podría surgir como resultado

de las diferencias en la radiación interceptada por el canopeo, la eficiencia de uso de la radiación (EUR) y partición entre diferentes tejidos. En el mismo estudio en todos los tratamientos, la combinación de la densidad de 45 plantas  $m^{-2}$  y el espaciamiento de la hilera 15 cm mostraron el mayor índice de área foliar (IAF) y mayor índice de área de silicuas (IAS). Dicho índice se calcula como los  $m^{-2}$  de silicuas por  $m^{-2}$  de superficie. Asociado a esto, durante el período de acumulación más intensa de materia seca en las semillas, la proporción de carbono asimilado entregado por los tejidos fotosintéticos a las semillas en crecimiento fue de 37% para las hojas, 32% para las paredes de los frutos, 31% para el tallo y 1% para las semillas, lo que indica que las hojas y las silicuas hicieron las contribuciones más importantes al rendimiento en colza. El incremento potencial en el rendimiento bajo 45 plantas  $m^{-2}$  y un espaciado de 15 cm entre hileras, estuvo estrechamente relacionado con el denso canopeo vegetal, como se observó en IAF y IAS. El IAS fue mayor que el IAF, lo que indica que las vainas pueden ser muy importantes para proporcionar fotosintatos para su propio desarrollo, ya que reciben intensidades de radiación mucho más altas que las hojas, aunque su tasa fotosintética es menor que la de la hoja.

En las condiciones de este estudio, el aumento en el rendimiento se debió principalmente a un aumento en la densidad de población. En comparación con las hileras más anchas, el espaciamiento más estrecho de las hileras con una densidad de plantas más alta aumentó la distancia entre las plantas dentro de la hilera, resultando en un patrón de siembra más equidistante que se espera retrase el inicio de la competencia intra-específica, aumentando el crecimiento temprano de los cultivos (Kuai et al., 2015).

Ozer (2003) encontró efecto del espaciamiento en la madurez de los cultivares de colza, siendo generalmente más sincronizado en el espaciado de hilera estrecha (15 cm) que en espaciamientos de hilera anchos (30 o 45 cm). Este efecto puede deberse al hecho de que la tasa de crecimiento de los cultivos aumentó a medida que aumentó la densidad de las plantas. El aumento del espaciamiento entre las hileras retrasó considerablemente la floración de los cultivares. Al mismo tiempo la presencia de menos ramas que contengan vainas debería producir un desarrollo de vainas y semillas más sincronizado y dar lugar a una maduración de semilla más uniforme, y posiblemente menor glucosinolato en las semillas y mayores contenidos de aceite (Sinciks et al., 2010).

La variación del espaciamiento, también se correlacionó con la altura de la planta a cosecha, donde se obtuvieron mayores alturas de plantas a partir de espaciamientos estrechos de hileras y poblaciones elevadas de siembra (Sinciks et al., 2010). La altura excesiva de las plantas afecta el índice de cosecha, siendo este uno de los índices actualmente utilizados para evaluar la eficiencia de partición de un cultivo. Se ha demostrado que mejora con la

madurez anterior y que se correlaciona negativamente con la altura y la puntuación de vuelco (Kuai et al., 2015).

### 2.3. 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). En múltiples cultivos ha sido demostrado que en situaciones de distribución no uniforme la competencia por recursos disponibles (generalmente escasos) puede agudizarse en la medida que aumenta el número y tamaño de plantas vecinas (Yang et al., 2014). Por este motivo, es de notoria importancia lograr un cultivo uniforme ya que se obtiene mayor producción de biomasa y productividad en comparación a un cultivo sin uniformidad debido a la disponibilidad de recursos (Yang et al., 2014). La condición ideal bajo la cual el rendimiento es maximizado es aquella donde todas las plantas rinden lo mismo debido a la falta de interferencia entre ellas, con un reparto equitativo de los recursos disponibles (Hühn, 2003).

Es por esto que, una distribución uniforme de las plantas por unidad de área es un requisito previo para la estabilidad del rendimiento (Ozer, 2003). Diversos estudios de la década del 90 muestran que en nuestras condiciones la colza se adapta a un alto rango de poblaciones, que van desde 70 a 150 plantas  $m^{-2}$ , lo que supondría la no necesidad de incurrir en un gasto de semilla que no repercutirá en el rendimiento. En este sentido Morrison et al., citados por Angadi et al. (2003) sostienen que la plasticidad de una planta para compensar las poblaciones sub óptimas depende de la disponibilidad de recursos como luz, agua y nutrientes. En particular, cuanto mayor sea la disponibilidad de recursos, mayor será la expresión de la plasticidad.

En un estudio llevado a cabo por Angadi et al. (2003) en Canadá, hallaron que Canola exhibió plasticidad para mantener el rendimiento en grano a través de un amplio rango de población en condiciones semiáridas. La reducción de la población en un 50% de 80 a 40 plantas uniformemente distribuidas por  $m^{-2}$  no tuvo ningún efecto sobre el rendimiento en grano. Sin embargo, si la población reducida se distribuyó de forma no uniforme, entonces se observaron reducciones del rendimiento en 2 de 3 años, los cuales tuvieron la particularidad de presentar deficiencias hídricas.

El óptimo espaciamiento entre hileras y distancia entre plantas debe ser determinado para cada condición agroecológica. Para las condiciones del Uruguay, la bibliografía sugiere que la distancia entre hileras sea entre 15 y 17 cm, no habiéndose encontrado ningún tipo de inconveniente con distancias que alcanzan los 30 cm (Martino y Ponce de León, 1999).

En nuestro país el estudio publicado en la tesis de grado de Fernández et al. (2014) remarca la importancia de lograr distribuciones de individuos homogéneas y que de no lograrlas las mermas en rendimiento podrían situarse en torno al 7 y 15 %.

#### 2.4. MÉTODO DE ESTUDIO: POLÍGONOS DE THIESSEN

Debido a la imperfección de la colocación de semillas de las máquinas de siembra, además de muchos otros factores bióticos y abióticos, los distintos grados de establecimiento resultantes exhiben distribuciones espaciales no regulares de sus plantas. Sobre la base de varias suposiciones simplificadoras Huhn (1998), desarrolla un enfoque estocástico que permite una estimación de los efectos de los patrones espaciales no regulares en el rendimiento por área.

Existe evidencia empírica de que el rendimiento aumenta con la uniformidad creciente de la distribución espacial de las plantas individuales sobre el área (Mulle y Heege, 1981). Por lo tanto, la variabilidad de los espacios de las plantas individuales es de gran interés. Para esto, se debe simular y modelar la disponibilidad de recursos de crecimiento y factores ambientales esenciales (luz, agua, nutrientes, espacio físico de crecimiento, etc.). Las áreas explotadas por cada planta individual pueden ser representadas por un conjunto de "zonas de influencia" que pueden definirse por consideraciones puramente espaciales. Cada zona de influencia puede estar unida a una medida cuantitativa, su "espacio". La cantidad de este espacio refleja la disponibilidad de factores ambientales. La idea básica de todos estos enfoques bastantes diferentes, es la suposición de que el rendimiento de una planta individual puede considerarse como una función del espacio por planta. Estos espacios individuales pueden determinarse cuantitativamente, por ejemplo, mediante la construcción de los polígonos de Thiessen (Huhn, 1999). El área del polígono se calcula a partir de las coordenadas de los vértices del polígono. Esta área de polígono es el área potencialmente disponible para el crecimiento de la planta. Esta medida divide la superficie total del stand y los recursos asociados en las partes potencialmente disponibles para cada planta individual. A su vez, es indispensable para construir el polígono de una cierta planta sujeto, su vecindario completo.

De esta manera se obtiene el resultado obvio: con el aumento de la variabilidad de las distancias de las plantas dentro de las hileras la variabilidad de las áreas individuales resultantes de los polígonos de Thiessen correspondientes, aumenta también (Huhn, 1999). En la práctica, sin embargo, las situaciones reales de cada planta son mucho más complicadas y están determinadas por un gran número de factores de influencia: elección del

cultivar, condiciones climáticas, propiedades del suelo, efectos de las plagas y enfermedades, efectos competitivos de los vecinos, prácticas agronómicas, etc. Para este modelo teórico, los efectos de la precisión en la distribución longitudinal de las semillas sobre el rendimiento por área, se asume una población de plantas definida que debe caracterizarse por un conjunto específico de los numerosos factores mencionados anteriormente. Estos factores se consideran dados. Por lo tanto, las siguientes investigaciones teóricas se basan en sólo dos variables explícitas restantes: rendimiento de una planta única y espacio individual.

En base al enfoque del trabajo, los objetivos propuestos y la bibliografía consultada, se puede plantear una hipótesis general: la distribución de las plantas en el cultivo de colza afectan el rendimiento, incrementándose cuando esta es más uniforme, midiéndose la uniformidad como el CV(%) del área de cada planta dentro del cultivo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN

El trabajo de tesis se llevó a cabo en la zafra de invierno 2016, 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.

#### 3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó el trabajo en base al muestreo de un experimento instalado con otros fines, pero que presentaba variabilidad en las poblaciones, distribuciones de plantas y distancia entre filas.

El experimento utilizado fue sembrado el 1/6/2016, y tenía un diseño de 3 bloques completos al azar, con 8 tratamientos, que consistían en distintas poblaciones y distancias entre filas (17 y 34 cm), todos sembrados con el híbrido Hyola 575 CL. Como se mencionó dicho diseño no fue usado como tal, sino que se realizó sobre él un muestreo aleatorizado de un grupo de plantas. Sobre estas, mediante análisis de varianza de las regresiones entre las variables calculadas se basó casi en su totalidad el análisis estadístico. Solamente se utilizó el modelo original para evaluar la implantación y el efecto del espaciamiento de hileras.

En cada uno de los bloques se midió para las 6 hileras centrales, las distancias entre cada planta en la fila y para 2 de ellas (las centrales), se cosechó cada planta individualmente de manera de estimar el rendimiento por planta.

A partir de estas determinaciones y para cada parcela evaluada se elaboró una grilla "x/y", donde el valor 0/0 corresponde a un vértice de la parcela, y los distintos valores de "x" se corresponden a la distancia entre hileras, mientras que los valores "y" corresponden a las ubicaciones de cada planta en la hilera. Esto determino que se conociera la ubicación de 1789 plantas, para las cuales se midió el rendimiento de un total de 683.

Al medir la distancia entre cada planta de interés y sus vecinas y al contar con la grilla fue posible calcular polígonos de Thiessen y su área mediante la utilización del programa ArcMap. De esta manera se cuenta con una estimación de área por planta y por tanto la superficie disponible para hacer uso de recursos del ambiente. A modo de ejemplo, se puede ver en la imagen del anexo 2, la figura del polígono para una de las repeticiones medidas.



Al obtener el área de los polígonos vinculado con un conjunto de información obtenida en la etapa de campo como son el rendimiento y número de silicuas de cada planta, la implantación del ensayo (población), la distancia entre las plantas y el coeficiente de variación, permitió el estudio del comportamiento del cultivo ya sea planta a planta o por unidad de superficie.

Al observar las imágenes de los polígonos para cada planta, aquellas ubicadas en los extremos de las hileras, terminaban arbitrariamente y podían estar generando ruido en los resultados. Esto se corrigió eliminando las plantas de los extremos, pero el resultado no varió, por lo que se siguió utilizando la totalidad de las observaciones.

Para evaluar el impacto de la uniformidad sobre el rendimiento a partir de la información generada, lo primero que se hizo fue relacionar el área disponible por planta y el rendimiento individual en una regresión lineal. Con esta información consolidada se ajustó un modelo de regresión lineal simple y se analizó su significancia utilizando un análisis de varianza de la regresión.

Por otra parte, se agrupó las evaluaciones realizadas en cada planta individual para estimar de esa manera el rendimiento por unidad de superficie, luego por medio de regresiones lineales y análisis de varianza de la regresión se estudió la significancia de esa asociación. En todos los casos, se utilizó el programa Infostat 2016 para realizar los análisis.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

#### 4.1.1 Registros de la EEMAC

##### 4.1.1.1 Precipitaciones

Las precipitaciones se dieron con una distribución variada a lo largo del año. Salvo en julio donde el 2016 superó al promedio de los demás años, se dieron precipitaciones similares o por debajo del promedio. Por tal motivo es que se realizó riego a fin de junio para asegurar el establecimiento del cultivo. El primer momento en que se regó el ensayo coincide con el período de implantación, crucial para este cultivo y por el lado de la segunda época de riego coincide con un período pobre en cuanto a precipitaciones y previo al desarrollo vegetativo (Escala B y C1 CETIOM).

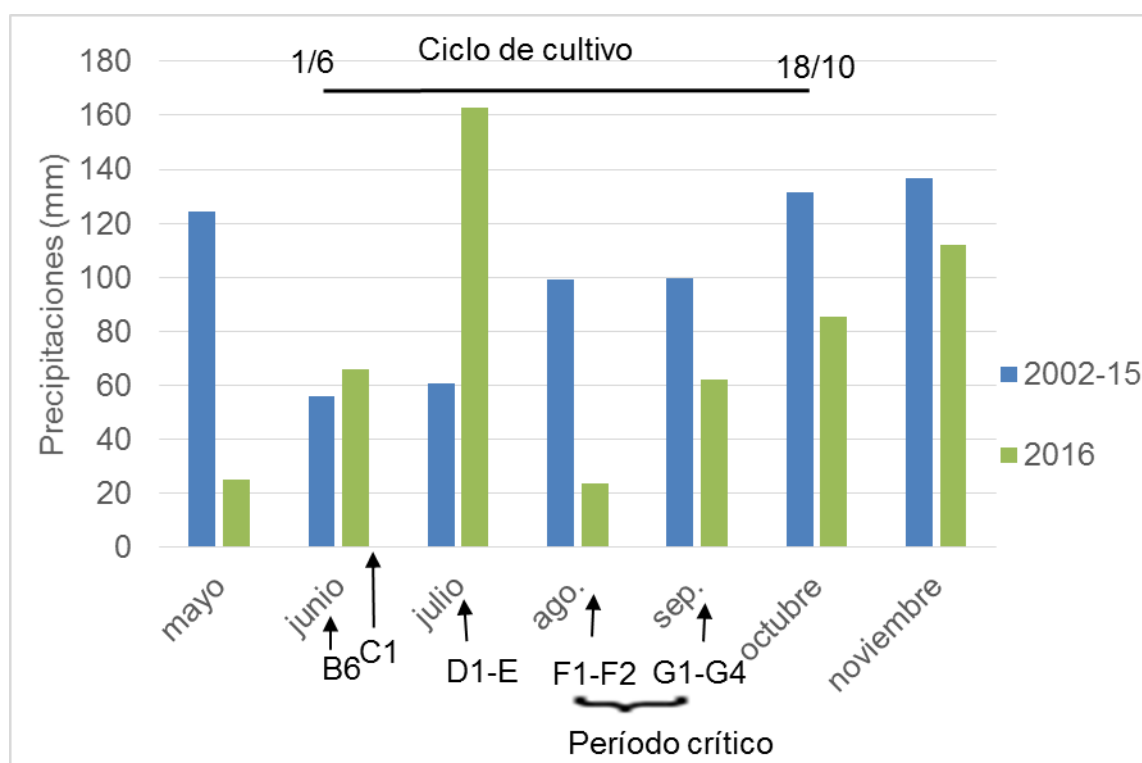


Figura 1. Precipitaciones para el período del ensayo en el que se desarrolló el cultivo, mayo-octubre 2016, en relación al promedio 2002/2015

#### 4.1.1.2 Radiación y temperatura

La radiación incidente para la zafra en estudio, durante el desarrollo del cultivo fue muy similar a la serie histórica, por lo que se asume que no afectó el rendimiento del cultivo.

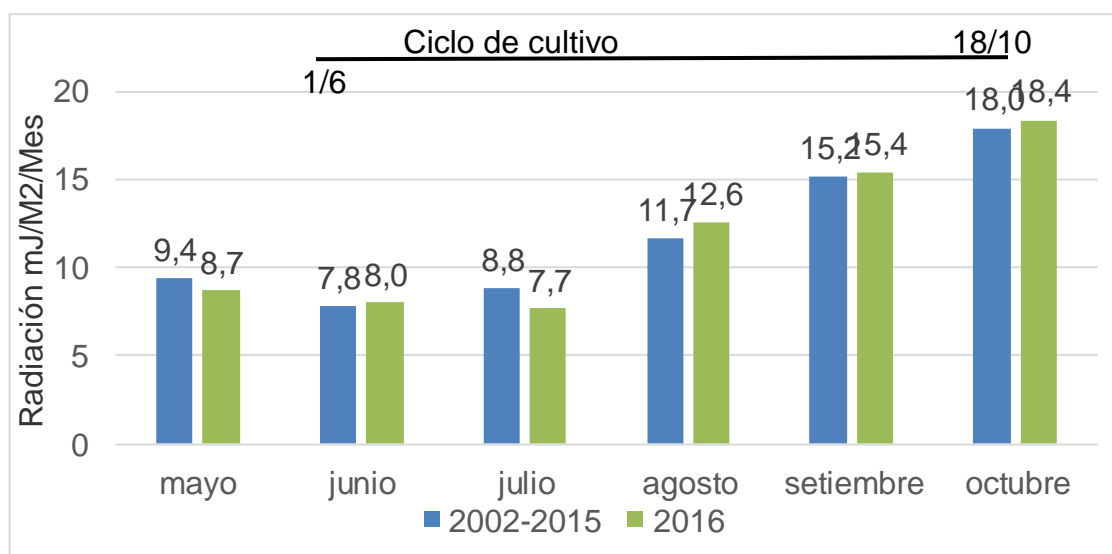


Figura 2. Radiación media mensual para el período del ensayo en el que se desarrolló el cultivo, mayo-octubre 2016, en relación al promedio 2002/2015

Por el lado de la temperatura, el año 2016 se caracterizó por ser un año frío, desde el inicio de la zafra hasta su fin, presentándose por debajo de la serie histórica en todo el ciclo.

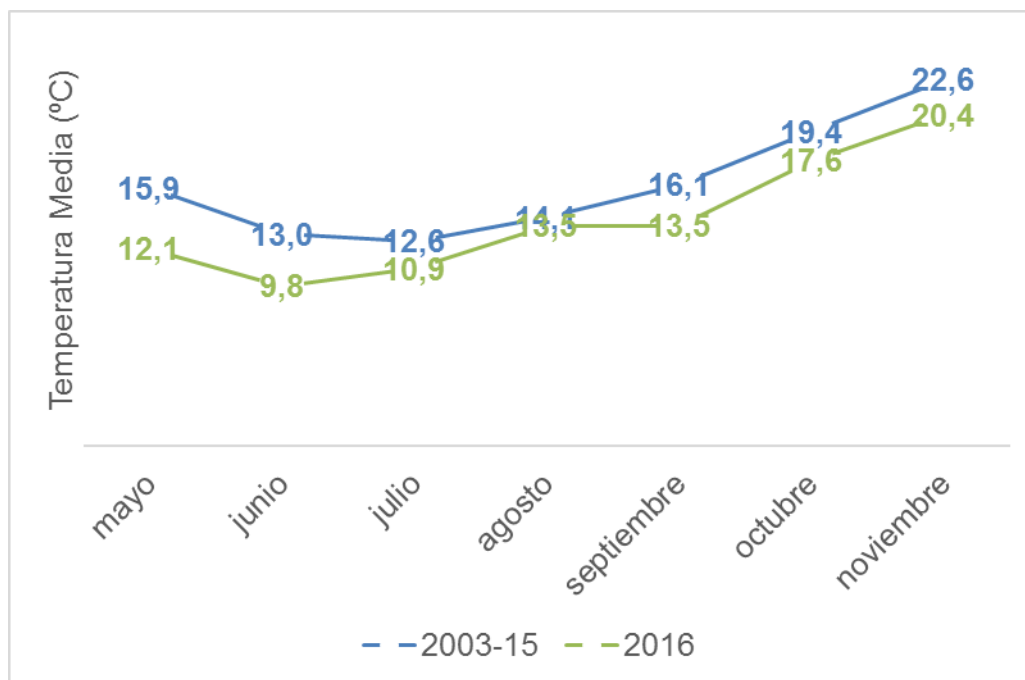


Figura 3. Temperatura para el período del ensayo, mayo-octubre 2016, en relación a la serie histórica 2002-2015

#### 4.1 RESULTADOS GENERALES DEL ENSAYO

##### 4.2.1 Población lograda (porcentaje de implantación)

Se realizó un análisis de varianza para observar si hubo efecto de la población objetivo, distancia entre hileras, efecto bloque, y de la interacción entre distancia entre hileras y población objetivo, en el % de implantación. Ninguna variable resultó significativa, encontrándose una leve tendencia en la interacción analizada ( $p$ -valor 0,0671). Al no observarse diferencias significativas se decidió analizar por separado 17 cm y 34 cm.

Si bien se sembraron 4 poblaciones contrastantes (30, 50, 70 y 90 pl.  $m^{-2}$ ), la población que realmente se logró implantar para las dos distancias de hileras utilizadas fue variable y en pocos casos existió relación entre el valor objetivo y el valor logrado. El cuadro 1 muestra el porcentaje de implantación para cada una de las densidades evaluadas.

Se observó que a medida que aumenta la densidad de siembra, la implantación se redujo significativamente ( $P$ -valor= 0,003) para la distancia de hileras de 17 cm, mientras que para la siembra a 34 cm no hubo diferencias

significativas en el valor de implantación logrado al aumentar las densidades de semilla sembrada.

Cuadro 1. Población objetivo y porcentaje de implantación para ambas distancias de hileras

Población objetivo (plantas/m <sup>2</sup> )	Población lograda (plantas/m <sup>2</sup> )	% implantación	Población objetivo (plantas/m <sup>2</sup> )	Población lograda (plantas/m <sup>2</sup> )	% implantación
17 cm			34 cm		
30	22,2	<b>74 a</b>	30	10,6	<b>35 a</b>
50	22,2	<b>44 b</b>	50	31,2	<b>62 a</b>
70	19,9	<b>28 b</b>	70	35,6	<b>51 a</b>
90	31,2	<b>35 b</b>	90	40,5	<b>45 a</b>

\*Letras diferentes en la columna muestran diferencias significativas (P-valor <0,05)

Estos resultados pueden deberse a que mayores distancias entre hileras (34 cm vs. 17 cm) en los rangos de población manejados, siempre promueven competencia en la hilera, generando que no haya efecto en el porcentaje de implantación al aumentar la densidad de siembra. En menores distancias entre hilera se observa una población “óptima” del ensayo para lograr el mayor porcentaje de implantación. Aumentando la población, más allá de 30 plantas m<sup>-2</sup>, la competencia genera porcentajes de implantación menores, sin diferencias entre ellas.

Tampoco se encontraron diferencias significativas en el rendimiento para los dos tratamientos de distancia entre hileras, siendo el rendimiento promedio, 1157 kg ha<sup>-1</sup> y 1056 kg ha<sup>-1</sup> para 17 cm y 34 cm respectivamente. Esto a razón de una implantación en promedio similar para ambos casos (46% y 48%). Esto es contradictorio con la bibliografía, que afirma que al estrechar las filas aumenta el rendimiento. Sin embargo, al estrechar la distancia para nuestro experimento no se tradujo en un rendimiento superior. No obstante, dadas las características del ensayo y condiciones hídricas los rendimientos logrados fueron bajos, lo cual pudo haber influido en la respuesta.

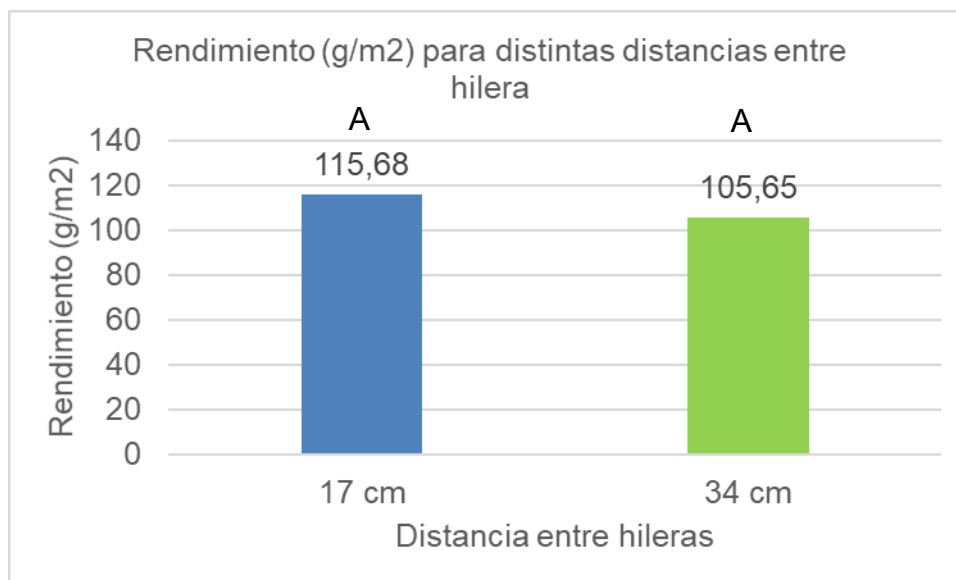


Figura 4. Relación entre el rendimiento ( $\text{g m}^{-2}$ ) y las distancias de hileras empleadas.

#### 4.2.2 Rendimiento por superficie

##### 4.2.2.1 Componentes del rendimiento

En este trabajo se relevó solo el número de silicuas por planta por considerarlo el componente más relevante del rendimiento según estudios anteriores. En la tesis de Fernández et al. (2014), para un trabajo similar a este, encontraron una correlación de 0,87 para Hyola 575 CL entre número de silicuas y el rendimiento. En la bibliografía consultada para el cultivo, Naghizadeh y Hasanzadeh (2012), indicaron que es el principal componente de rendimiento del cultivo de colza. Nuestros resultados muestran que la relación entre dicho componente y el rendimiento por  $\text{m}^{-2}$  reveló una correlación media, 0,56 y 0,36 para las distancias 0,17 y 0,34 respectivamente. Esto quiere decir que, si bien es importante, hay otros factores que pueden estar interactuando, como número y peso de grano y el número de granos por silicua.

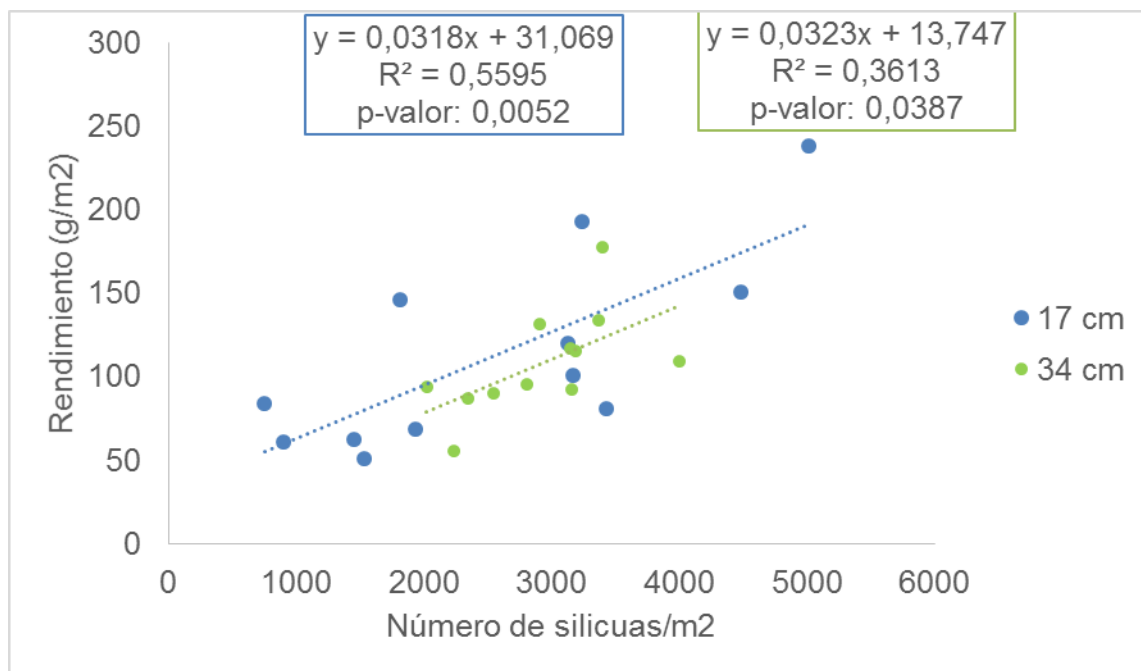


Figura 5. Relación entre el rendimiento ( $\text{g m}^{-2}$ ) y número de silicuas  $\text{m}^{-2}$

#### 4.2.2.2 Efecto de la población

Antes de entrar en el análisis del efecto particular de la población sobre el rendimiento, se corroboró que la población medida en los surcos centrales estuviera en línea con la medida en toda la parcela. El análisis de correlación indica una buena asociación entre las variables ( $R^2 = 0,82$ ;  $P < 0,001$ ), lo cual, señala que es indiferente a los efectos del análisis utilizar la población de toda la parcela o la de los surcos centrales dónde se evaluó el rendimiento (ver anexo 3).

Para determinar la influencia de la población sobre el rendimiento se evaluó la relación entre el rendimiento por  $\text{m}^{-2}$  y las plantas por  $\text{m}^{-2}$  para las dos distancias entre fila existentes (17 cm y 34 cm). El resultado fue concordante con la bibliografía, donde el rendimiento no se vio influenciado por la población lograda. En este caso, dentro del rango de 15 a 40 plantas por  $\text{m}^{-2}$  (población baja), no hubo efecto en el rendimiento.

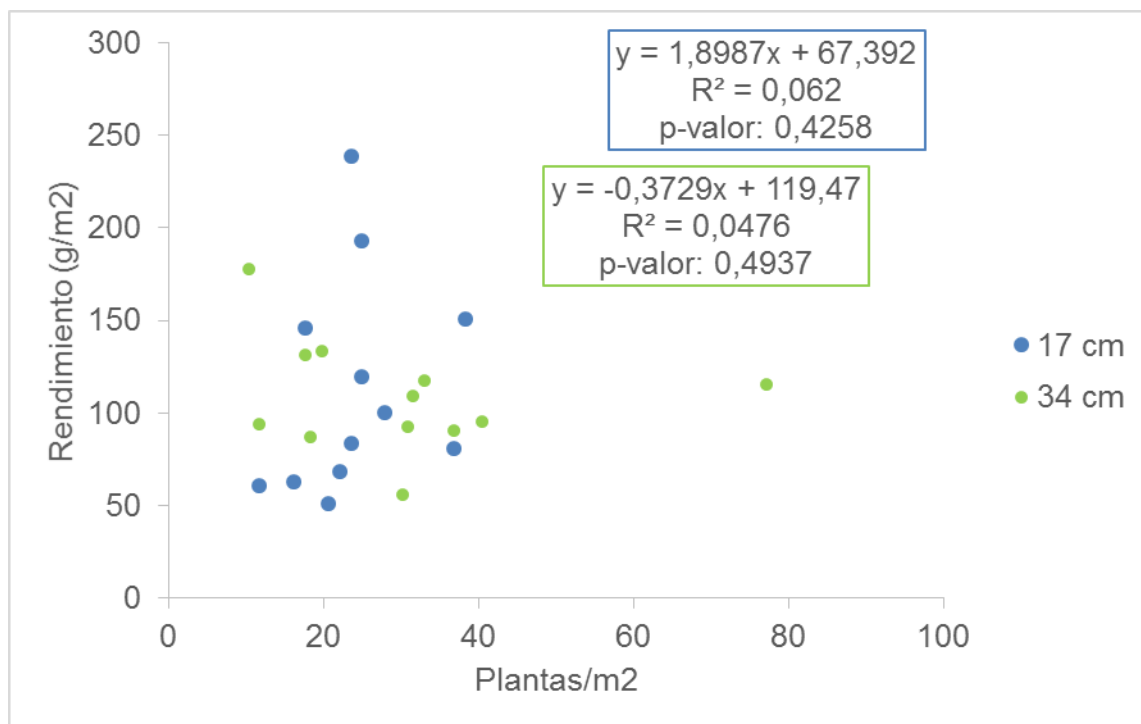
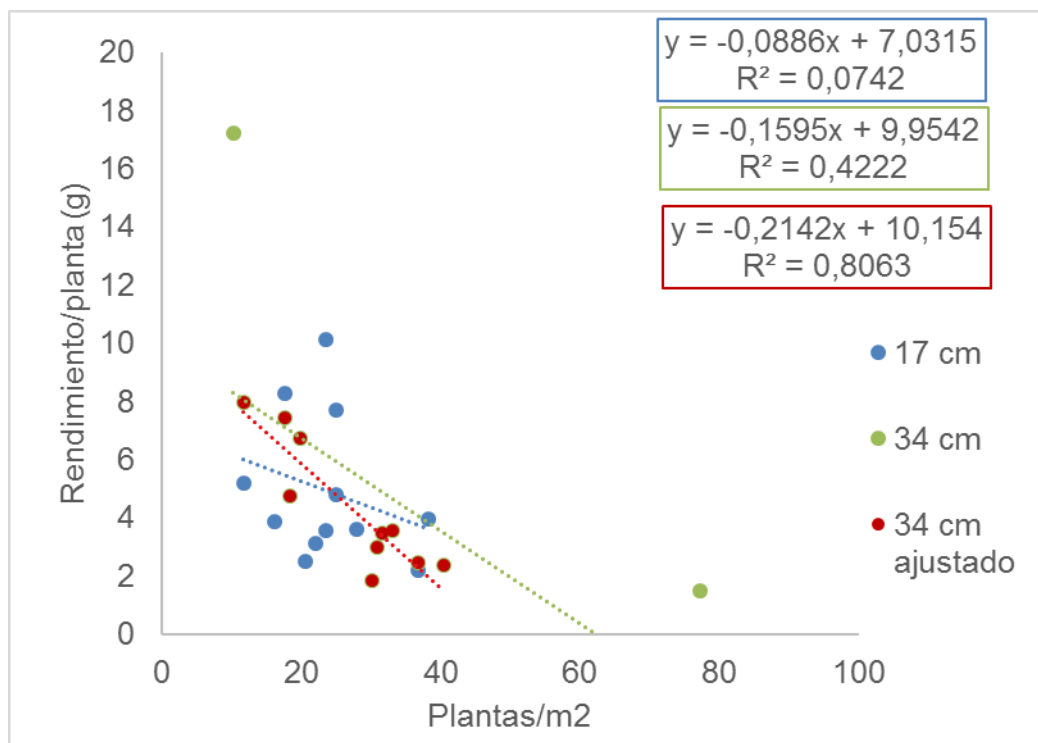


Figura 6. Relación entre el rendimiento y las plantas por unidad de superficie

Cuando se evaluó el efecto de la población sobre el rendimiento promedio de cada planta individual en los distintos tratamientos de población, el resultado fue coincidente con el trabajo de Kuai et al. (2015), donde se observa una correlación negativa entre población y rendimiento por planta. Es decir, al incrementar las plantas por unidad de superficie, éstas poseen un sitio menor para su crecimiento generando un aumento en la competencia intra-específica, consumando un menor rendimiento de cada planta. Para este análisis se quitaron los puntos out lier para la distancia de 34 cm, lo que se visualiza en el gráfico como modelo ajustado, permitiendo un mejor análisis del mismo.





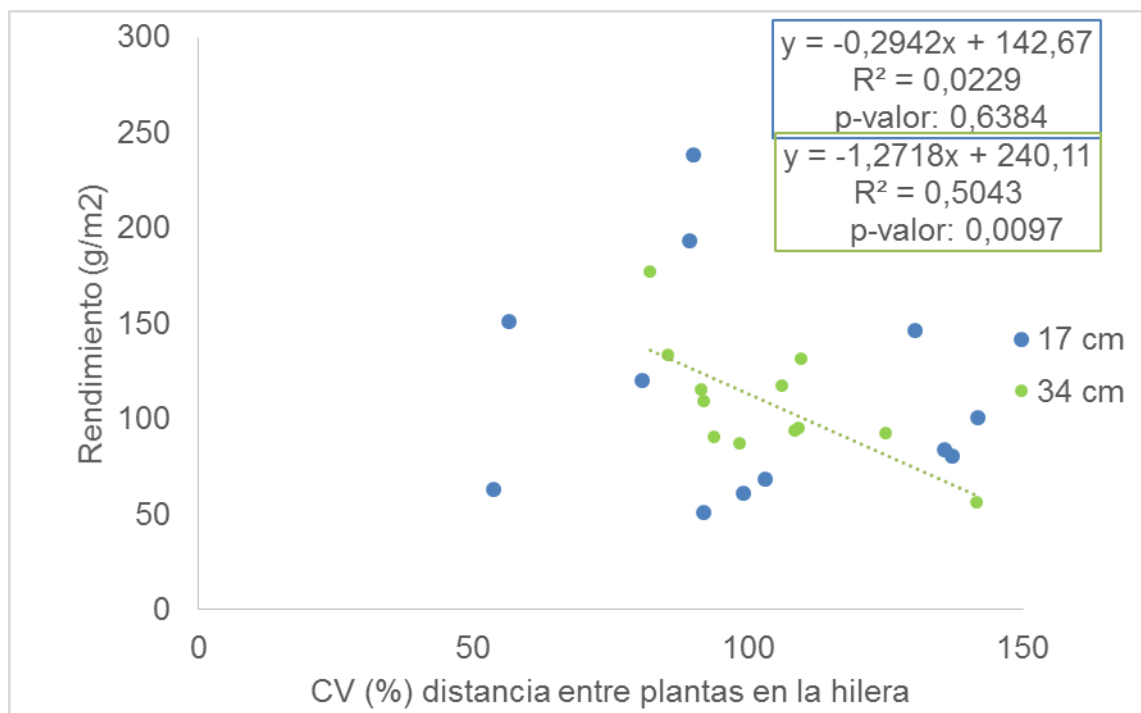
Ajustado: se refiere a la regresión sin considerar out lier  
 Distancia 0,17 p-valor: 0,4037; Distancia 0,34 p-valor:0,0214

Figura 7. Relación entre el rendimiento promedio por planta y la población por m<sup>-2</sup>

#### 4.2.2.3 Efecto de la distancia entre plantas sobre el rendimiento por unidad de superficie

La distancia entre cada una de las plantas en la línea y dada una población de plantas por unidad de superficie es parte importante en la uniformidad del cultivo. Por lo que requiere atención su efecto en el rendimiento y la relación que presenta con la cantidad de plantas m<sup>-2</sup>.

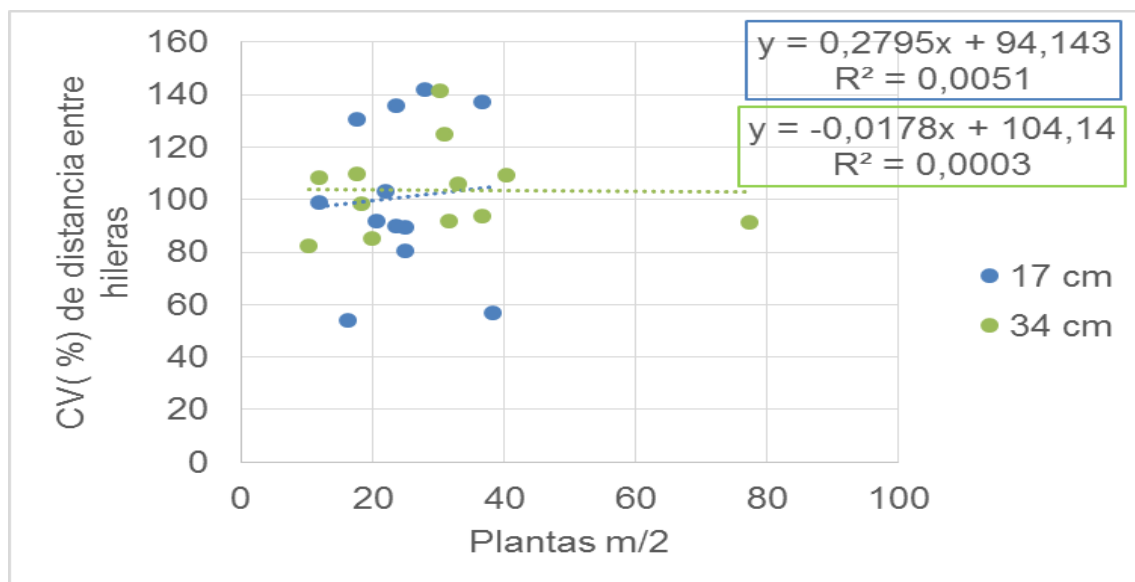
En la figura 8 se puede ver para la distancia de 34 cm, una correlación negativa ( $R^2 = 0,5$ ;  $P < 0,01$ ) entre las variables. Esto indica que a medida que la variación de las distancias se hace mayor el rendimiento decrece, ya que la distribución tiende a ser menos uniforme y esto afecta de forma más importante a las parcelas separadas a esta distancia (34 cm), debido a que la competencia en la hilera se presume más importante. En cambio, esta correlación no resultó significativa para la distancia más estrecha (17 cm), pudiendo ser la razón de esto la mejor distribución de las plantas que se logra con distancias menores (mejor distribución dentro de la hilera). Ocurre entonces, una nula alteración del rendimiento al variar las distancias entre las plantas.



Distancia 0,17 p-valor: 0,6384; Distancia 0,34 p-valor: 0,0097

Figura 8. Relación entre el rendimiento  $\text{g m}^{-2}$  y el CV (%) entre plantas

Para ver más acerca del efecto de la distancia entre plantas, se relacionó dicha variable con la cantidad de plantas por superficie, para estas variables no existió asociación (figura 9).

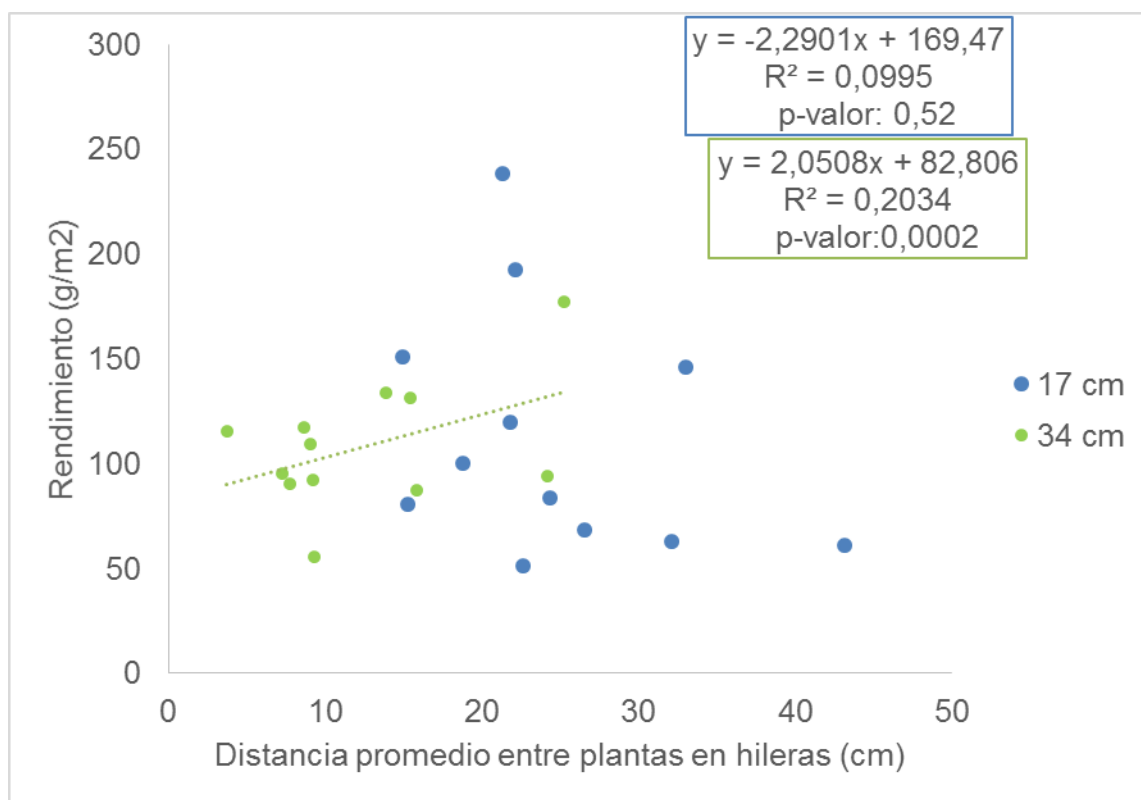


Distancia 0,17 p-valor: 0,744; Distancia 0,34 p-valor: 0,778

Figura 9. Correlación entre el total de las plantas por m<sup>2</sup> y la variación en la distancia entre cada una de ellas

Según la figura 8 mostrada anteriormente, el rendimiento por m<sup>2</sup> decae en siembras a 34 cm cuando la variación de la distancia se incrementa, pero ésta no se ve influenciada por la cantidad de plantas. Se torna complejo comprender la razón por la cual el rendimiento varía a pesar de que el número de plantas no lo hace. Podría deberse a la distribución de éstas, y más aún en hileras que presentan una mayor separación, donde las plantas compiten desde etapas iniciales debido a un mayor número de individuos en la hilera.

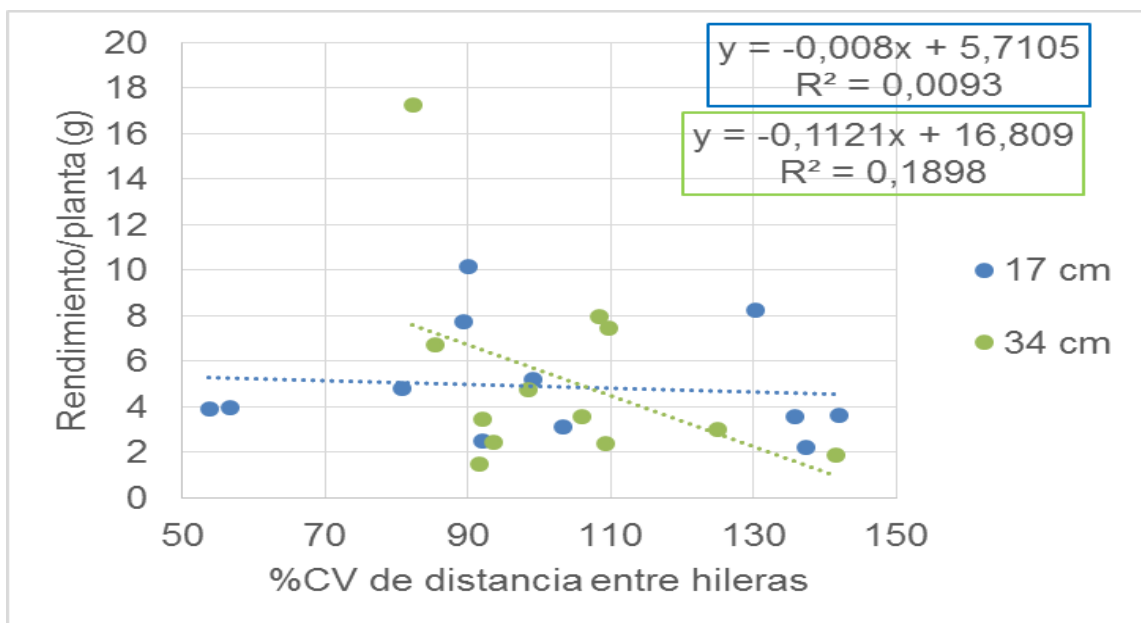
El efecto de la distancia en el desempeño de cada planta se puede ver a través del promedio de cada rendimiento y el promedio de las distancias, como se ve en la figura 10. Para el mayor espaciado, se observa una influencia significativa en el rendimiento a medida que la distancia se incrementa. Al aumentar el espacio, el rendimiento también lo hace ya que cada planta tiene una menor competencia en la hilera y posibilita un mayor rendimiento. Sin embargo, para el tratamiento de hileras estrechas el efecto es nulo, ya que la distribución es más equitativa independiente de la distancia en la hilera.



Distancia 0,17 p-valor: 0,52; Distancia 0,34 p-valor: 0,0002

Figura 10. Relación entre la distancia promedio entre plantas y el rendimiento promedio de las plantas

La misma lógica se observa al ver los resultados en el cambio del rendimiento en relación a la variación de la distancia (figura 11).



Distancia 0,17 p-valor: 0,766; Distancia 0,34 p-valor: 0,156

Figura 11. Relación entre el coeficiente de variación de la distancia entre plantas y el rendimiento promedio de las plantas

#### 4.2.2.4 Influencia del área de los polígonos sobre el rendimiento

El área de los polígonos es función de la distribución de las plantas, el número de plantas por unidad de superficie y de la distancia entre ellas, por lo que es clave comparar los tratamientos (34 cm vs. 17 cm). Para el análisis del rendimiento en función del área de cada polígono se observan resultados similares entre tratamientos.

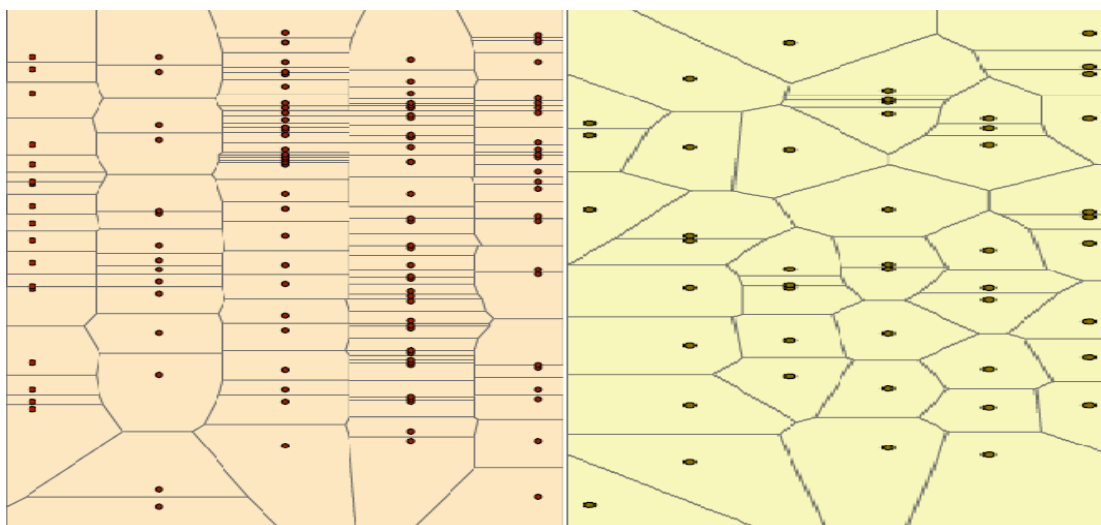


Figura 12. Comparación entre dos parcelas a distinta distancia entre fila (izquierda parcela a 34 cm, 33 plantas  $m^{-2}$ , derecha parcela a 17cm, 25 plantas  $m^{-2}$ )

No se encontraron respuestas significativas del rendimiento al tamaño del área de los polígonos. Solo existe una leve tendencia para el espaciado de 34 cm, donde al aumentar el área de los polígonos el rendimiento por área aumenta, lo que es reflejo de un aumento en el rendimiento por planta. Esto puede asociarse a un mayor espacio por planta en este tratamiento, ya que al incrementarse el área de cada planta es evidente el descenso de la población, lo que permite compensar el rendimiento haciendo uso de los mayores recursos disponibles. Esta situación no se da para el otro tratamiento, ya que la distribución en la hilera es más homogénea, por lo que el área de cada planta no influye en la performance del cultivo. Si se observa la figura 12 se puede ver en el tratamiento de filas a 17 cm (derecha) la distribución de las plantas en la hilera más homogénea mencionada anteriormente, comparado a la mayor competencia que en teoría presenta el tratamiento de 34 cm.

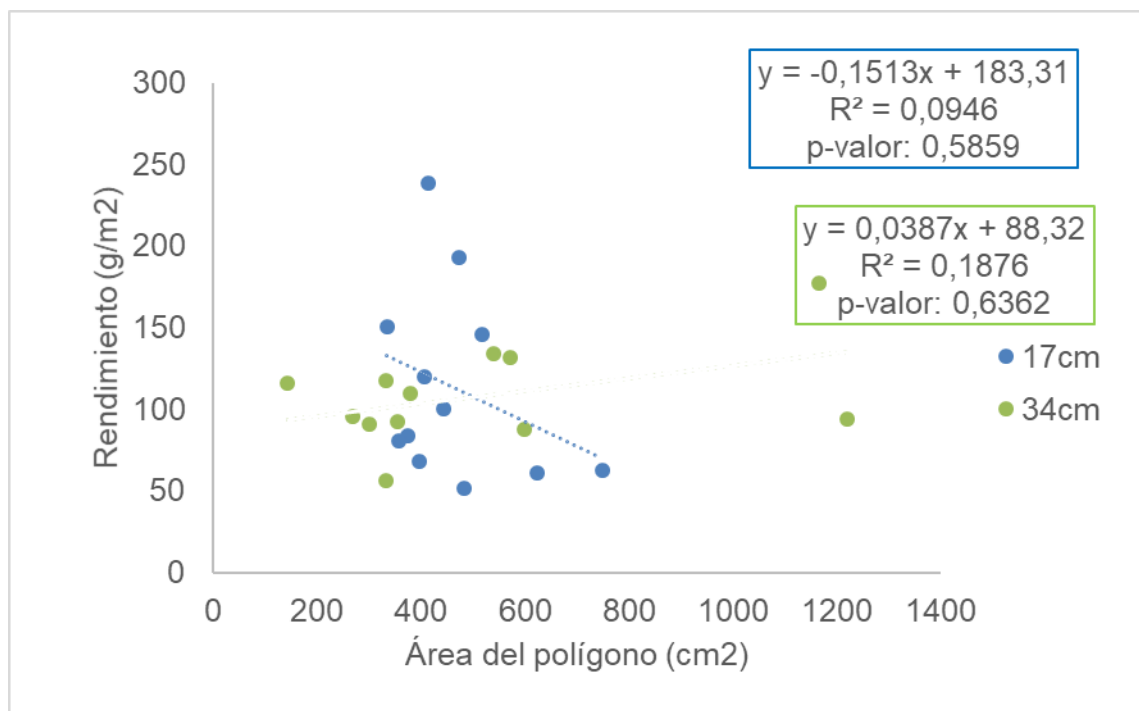


Figura 13. Relación entre el rendimiento ( $\text{g m}^{-2}$ ) y el área de los polígonos

El coeficiente de variación de las áreas de los polígonos muestra que tan distintas son éstas en cada parcela. En base a la figura 14 se puede decir que existe una nula correlación entre el rendimiento y el CV (%) de las áreas para el tratamiento de siembra a 17 cm. Este dato no es para nada menor, ya que significa que la uniformidad de las plantas en este caso de poblaciones bajas y un rendimiento entorno a los  $1100 \text{ kg ha}^{-1}$ , no tiene implicancias en la performance del cultivo de colza. En el caso del arreglo a 34 cm, el área influyó en el rendimiento, ocasionando el descenso de éste a medida que las áreas son más dispares, ya que se supone una mayor competencia intra-específica. Se plantea aquí la cuestión acerca del método de siembra y distancias con las cuales se obtendrían mayores rendimientos para aquellas chacras con filas estrechas.

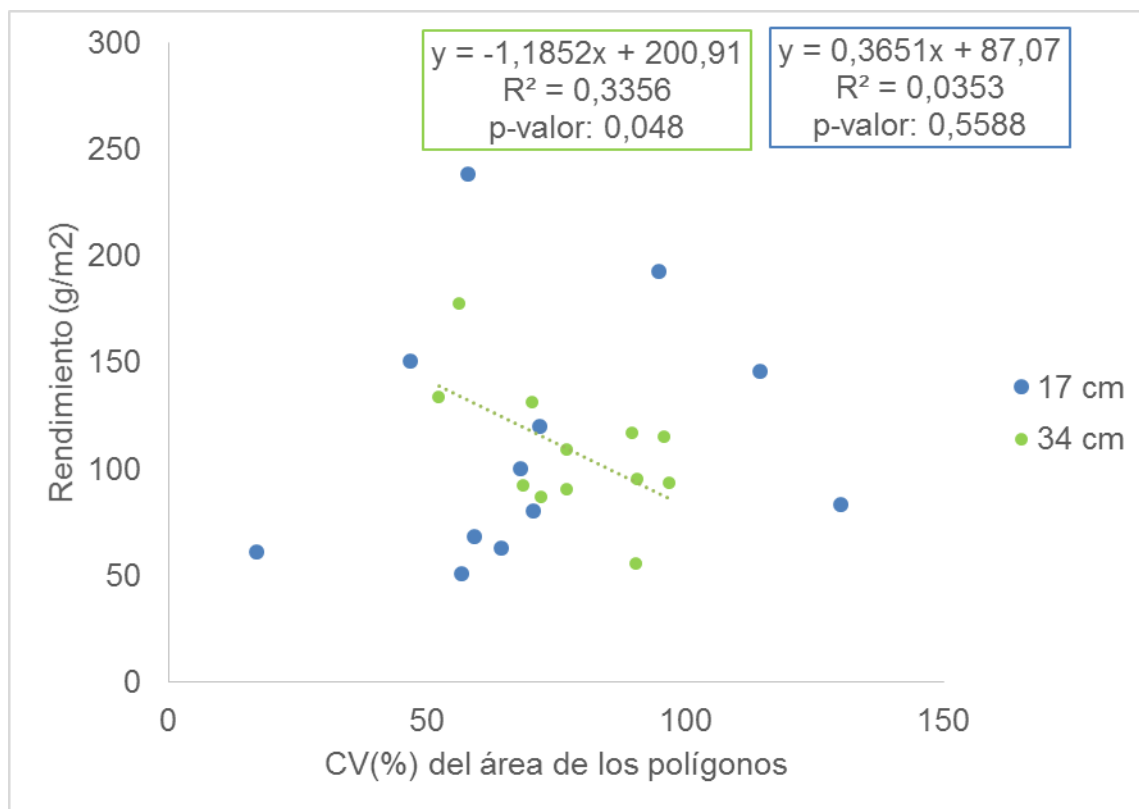


Figura 14. Relación entre la variación del área de los polígonos y el rendimiento en  $\text{g m}^{-2}$

Se podría concluir que, en distancias entre filas de 17 cm el arreglo espacial fue mejor que a 34 cm, debido a que variaciones en el CV (%) del área de los polígonos no significaron cambios en el rendimiento para la primera, mientras que si influyó en la segunda. Esto se podría interpretar como lo reflejan Angadi et al. (2003), que en condiciones sub-óptimas para el cultivo, como lo fueron en los ensayos con bajas poblaciones y bajos rendimientos, además le sumamos una elevada competencia en la fila (34 cm), la falta de uniformidad repercutirá en el rendimiento.

#### 4.2.3 Efecto de los diferentes factores en el rendimiento por planta

Esta sección centra el estudio en el análisis individual de cada planta de colza. Se pretende mostrar el comportamiento general de las plantas individuales en cada tratamiento.

El rendimiento por planta está explicado en gran parte por el número de silicuas. Esto es determinante ya que un mayor número de silicuas por metro



cuadrado, se traduce en mayor número de granos (componente principal del rendimiento) por unidad de superficie y por ende en un aumento en rendimiento.

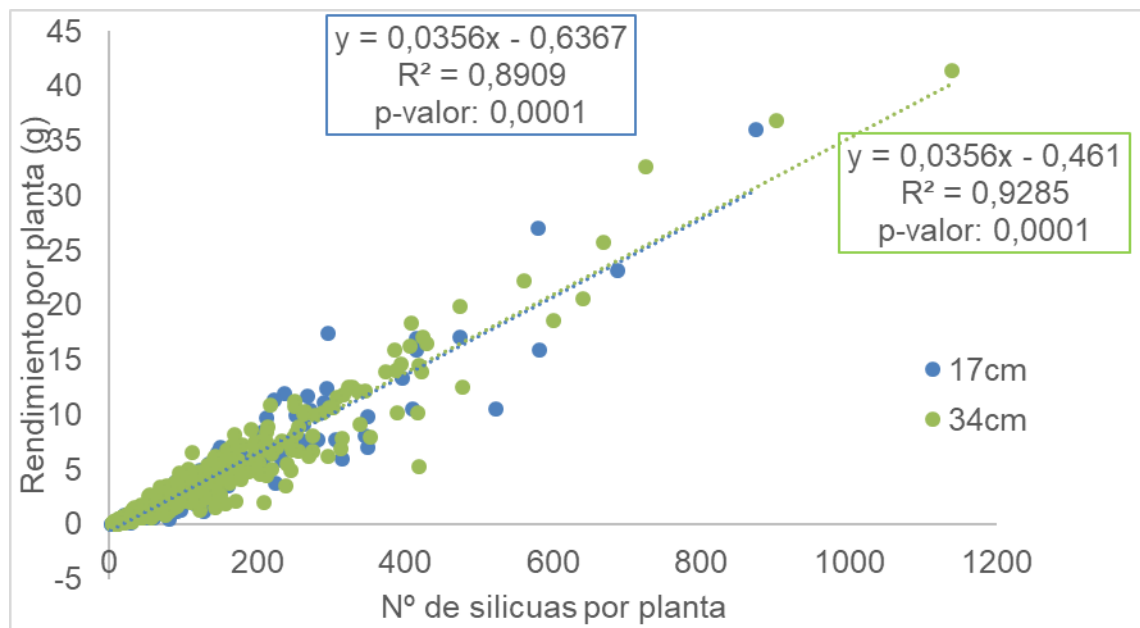


Figura 15. Relación entre el número de silicuas y el rendimiento por planta, para Hyola 575 CL

#### 4.2.3.1 Relación entre el área y el rendimiento por cada planta

En este punto se evalúa la relación entre el área de cada planta y el rendimiento de cada una de ellas. La correlación fue baja, ya que fue muy variado el resultado, es decir el área no presentó una tendencia para el rendimiento, sino que hubo distintos casos en todo el experimento. Plantas con áreas similares presentaron rendimientos muy distintos, por lo que el área no explicó por sí sola el rendimiento, por lo que hay más aspectos que influyeron en la performance de la planta que no fueron analizados en este estudio.

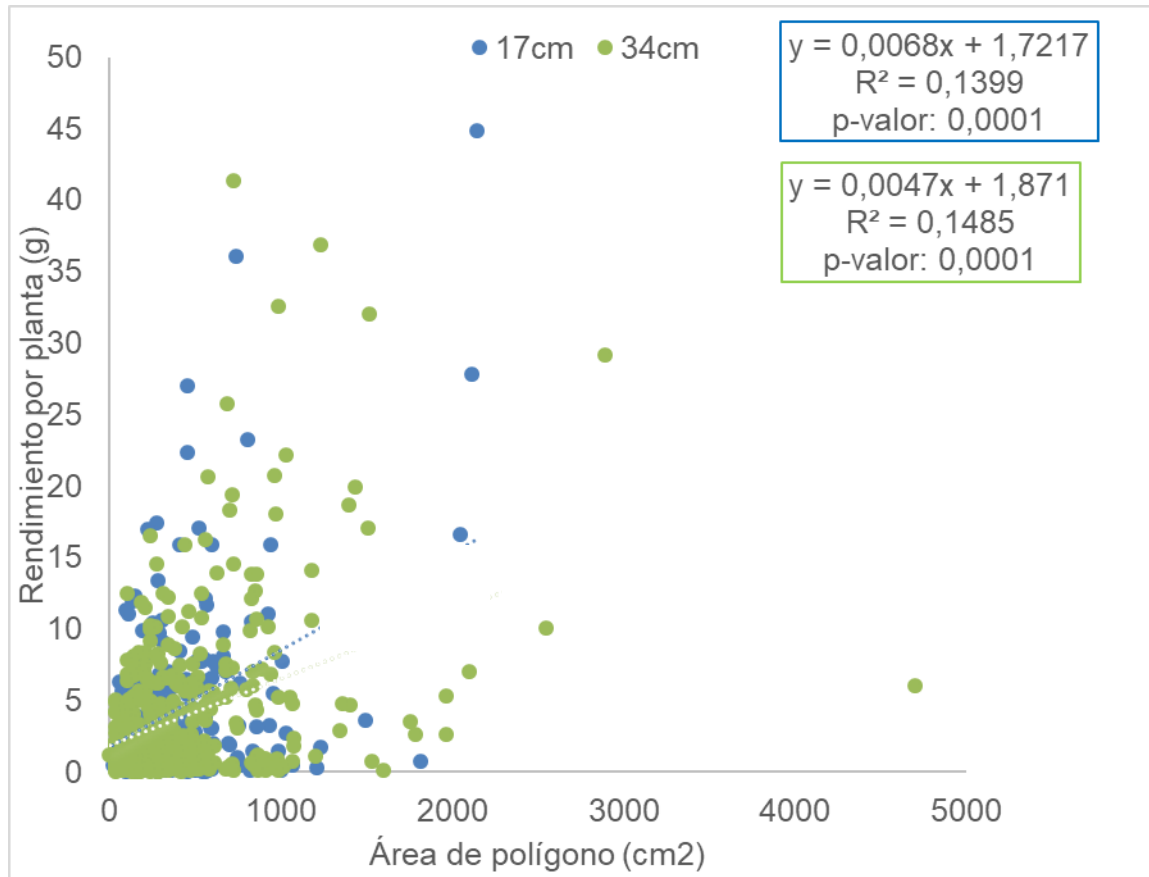


Figura 16. Relación entre el área y el rendimiento de cada planta, tomando el total de las plantas que se midieron

## 5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todos los factores analizados en este trabajo, se podría concluir que, para las condiciones de nuestro experimento, donde se lograron poblaciones y rendimientos bajos, la variedad de colza Hyola 575CL no presenta variaciones en el rendimiento en un amplio rango de poblaciones, que van desde 12 a 77 plantas por m<sup>-2</sup>. Además, tampoco hubo efecto de las dos distancias de siembra manejadas, 17 y 34 cm, este aspecto contrastante con la bibliografía consultada que muestra un aumento en el rendimiento al acercamiento de las líneas para este cultivo. La implantación fue similar en ambos tratamientos, a pesar de que a menor distancia de las hileras se halló una población óptima para implantarse, pero esto una vez más no influyó en el rendimiento.

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. En base a las variaciones del área, se puede concluir que para siembras a 17 cm la uniformidad no tiene efecto en el rendimiento, sin embargo, con siembras de hileras a 34 cm donde la competencia en ellas es mayor (situación de estrés) la falta de uniformidad tiende a repercutir negativamente en el rendimiento.

Sería necesario realizar un análisis respecto a la ubicación de la planta dentro del polígono, ya que se plantea que una planta ubicada en un extremo del polígono no accederá a la totalidad de los recursos del área disponible, distinto a si la misma planta se encuentra en el centro del mismo, esto podría tener efecto en el rendimiento. Dicho análisis se realizará en estudios posteriores a este trabajo.

Se concluye que hay factores más importantes que estuvieron marcando el rendimiento, como pueden haber sido las condiciones de implantación, o nutrientes entre otros, que afectaron en mayor medida que los factores analizados en este estudio.

El cultivo en este experimento fue capaz de obtener el mismo rendimiento para distintas poblaciones y distintos arreglos espaciales, pero no se evidenciaron las razones. Se abre aquí la posibilidad de analizar los componentes del rendimiento por separado (ramificaciones; silicuas, peso y número), para intentar entender y explicar de que forma el cultivo de colza es

capaz de compensar su rendimiento. Por último sería necesario evaluar la variación temporal del cultivo, en nuestro caso, las precipitaciones de julio pueden haber ocasionado la muerte de varias plantas en etapas tempranas del cultivo por exceso hídrico que utilizaron recursos, y para el cultivo se comportaron como una maleza. También se puede dar la germinación posterior de otras plantas, las cuales corren en desventaja con las anteriormente instaladas.

Todos estos análisis ayudarían a entender mejor el comportamiento del cultivo respecto a su desempeño en el futuro.

## 6. RESUMEN

El presente trabajo de tesis llevado adelante en la zafra de invierno 2016 tuvo como objetivo principal comprobar si existía impacto de la falta de uniformidad en el rendimiento del cultivo de colza-canola. Para dicho trabajo se utilizó un ensayo de distancia entre hileras para el híbrido Hyola 575CL sobre el cual se realizaron las mediciones. Dicho ensayo constó de tres bloques completamente al azar con ocho repeticiones y dos tratamientos espaciados a 17 cm y 34 cm. Para cada repetición se estimó el rendimiento de cada planta de las dos filas centrales (683 plantas) y se midieron las distancias entre plantas para las filas vecinas (1789 plantas) lo cual permitió mediante el cálculo de polígonos de Thiessen calcular el área atribuida a cada planta. De esta manera se relacionó para los dos tratamientos los rendimientos en relación al área y otras variables asociadas, CV (%) para el área, CV (%) para la distancia entre planta dentro de la hilera, relacionándolo también con la población objetivo y la población lograda. La uniformidad se midió como el CV (%) del área de los polígonos. En cuanto a los diferentes espaciados los resultados difirieron de la bibliografía consultada, ya que no existió variación significativa en el rendimiento al estrechar la distancia entre hileras. 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 uniformidad, principal variable de nuestro estudio, no hubo efecto en el rendimiento para los ensayos sembrados a una distancia de 17 cm entre filas, pero si se observó una disminución del rendimiento a medida que el CV (%) aumentaba en los ensayos a 34 cm.

Palabras clave: Colza; Uniformidad; Coeficiente de variación (%CV); Rendimiento; Área.

## 7. SUMMARY

The present thesis work was carried along in the winter of 2016, it had as main goal to prove if the lack of uniformity impacted the yield crop in rapeseed-canola. For this work, it was implemented an experiment of distance between rows for the hybrid Hyola 575CL on which the measurements were made. The experiment consisted of three completely randomized blocks with eight repetitions and two treatments of spacing, 17 cm and 34 cm. For each repetition, the yield was estimated on the plants of the two central rows (683 plants) and it was measured the spacing between plants for the adjacent rows (1789 plants) which permitted through the calculation of polygons of Thiessen to attribute an area for each plant. In this way for both treatments yields were linked to the area and other associated variables, CV (%) for the area, CV (%) for distance between plants inside the row, it was also related to the target population and the accomplished population. The uniformity was measured as the CV (%) of the area of the polygons. In terms of the different spacings results differed from the consulted bibliography, as it didn't exist a significant variation in yield when the distance is narrowed. The effect of population coincided with the bibliography as in a wide range of populations there was no effect in yield. For the uniformity, the main variable of our experiment, it had no effect in yields on the plots spaced at 17 cm, but it was observed a reduction of yield as the CV (%) increased in the plots spaced at 34 cm.

Key words: Colza; Uniformity; Coefficient of variation (%CV); Yield; Area.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. 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*. no. 43: 1358-1366.
2. Fernández, D. M.; Mattos, R. I.; Silva, M. A. 2015. Efecto de la desuniformidad de siembra sobre el rendimiento de colza – canola. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 46 p.
3. Homayounifar, M.; Ranji1, H.; Emami, A. 2013. Effects of planting date and density on the yield of a winter rapeseed cultivar in West Azarbaijan. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4 (7): 1564-1567.
4. Huhn, M. 1999. Theoretical results on the effects of nonregular spatial patterns of plants of yield per area. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 182: 1-7.
5. Kaur, P.; Singh, H.; Kingra, P. R.; Mukherjee, J. 2012. Mustard model as an agronomic management tool for oilseed *Brassica* cultivation in Irrigated plains of Punjab state. *Journal of Oilseed Brassica*. 3 (2): 99-110.
6. 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 feb. 2017. Disponible en <https://www.nature.com/articles/srep18835>.
7. Leach, L. E.; Stevenson, H. J.; Rainbow, A. J.; Mullen, L. A. 1999. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*). (en línea). *The Journal of Agricultural Science*. 132 (2): 173-180. Consultado feb. 2017. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/effects-of-high-plant-populations-on-the-growth-and-yield-of-winter-oilseed-rape-brassica-napus/CFF5F91896384E5654E6548FC0BE93A9>

8. Ozer, H. 2003. The effect of plant population densities on growth, yield and yield components of two spring rapeseed cultivars. (en línea). Plant, Soil and Environment. 49 (9): 422-426. Consultado feb. 2017. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/228424450\\_The\\_effect\\_of\\_plant\\_population\\_densities\\_on\\_growth\\_yield\\_and\\_yield\\_components\\_of\\_two\\_spring\\_rapeseed\\_cultivars](https://www.researchgate.net/publication/228424450_The_effect_of_plant_population_densities_on_growth_yield_and_yield_components_of_two_spring_rapeseed_cultivars)
9. Ponce de León, F.; Martino, D. L.; Díaz Lago, J. E. 1999. Agronomía de la canola. In: Martino, D. L.; Ponce de León, F. eds. Canola; una alternativa promisoriosa. Montevideo, INIA. pp.10-15 (Serie Técnica no. 105).
10. Różyło, K.; Palys, E. 2014. New oilseed rape (*Brassica napus* L.) varieties – canopy development, yield components, and plant density. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science. 64 (3): 260-266.
11. Sallem, M.; Cheema, A. M.; Malik, A. M. 2001. Agro-economic assessment of canola planted under different levels of nitrogen and row spacing. International Journal of Agriculture and Biology. 3 (1): 27-30.
12. 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.
13. Shahin, Y.; Valiollah, R. 2009. Effects of row spacing and seeding rates on some agronomical traits of spring canola (*Brassica napus* L.). Journal of Central European Agriculture. 10 (1): 115-122.
14. Sincik, M.; Goksoy, T. A.; Turan, M. Z. 2010. Influence of sowing properties on winter oilseed rape in a sub-humid Mediterranean environment. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. 38 (1): 171-175.
15. Vujaković, M.; Marjanović-Jeromela, A.; Jovičić, D.; Marinković, R. 2015. Dependence of rapeseed quality and yield on density, variety and year of production. (en línea). Field & Vegetable Crops Research. 52 (2): 61-66. Consultado feb. 2017. Disponible en <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-3944/2015/1821-39441502061V.pdf>



16. Wassem, M.; Balcoh, M. D.; Khan, I. 2014. Influence of various row spacing on the yield and yield components of Raya Anmol and Faisal Canola under coastal climatic conditions of Lasbela. (en línea). American Journal of Plant Sciences. 5: 2230-2236. Consultado feb. 2017. Dìponible en <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.515237>
17. Yang, C.; Gan, Y.; Gulden, R.; Harker, N.; Irvine, B.; Kutcher, R.; May, W. 2014. Up to 32 % yield increase with optimized spatial patterns of canola plant establishment in western Canada. (en línea). Agronomy for Sustainable Development. 34 (4): 793-801. Consultado feb. 2017. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-014-0218-5>

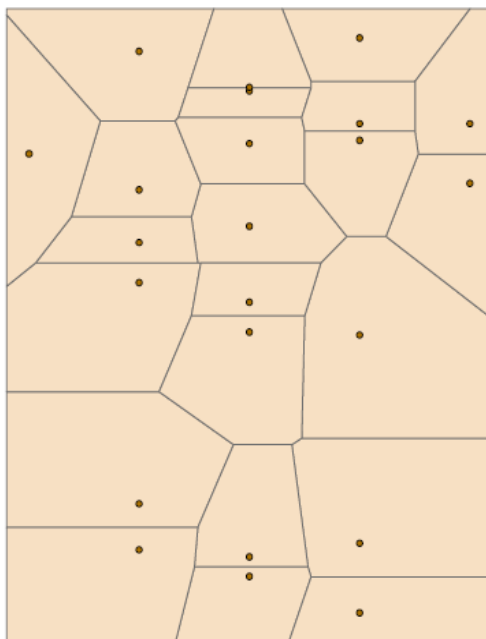
## 9. ANEXOS

Anexo 1. Rendimiento por unidad de superficie y componentes del rendimiento de la colza de invierno bajo diferentes densidades y arreglos de espaciamiento de la hilera durante 2012-2014

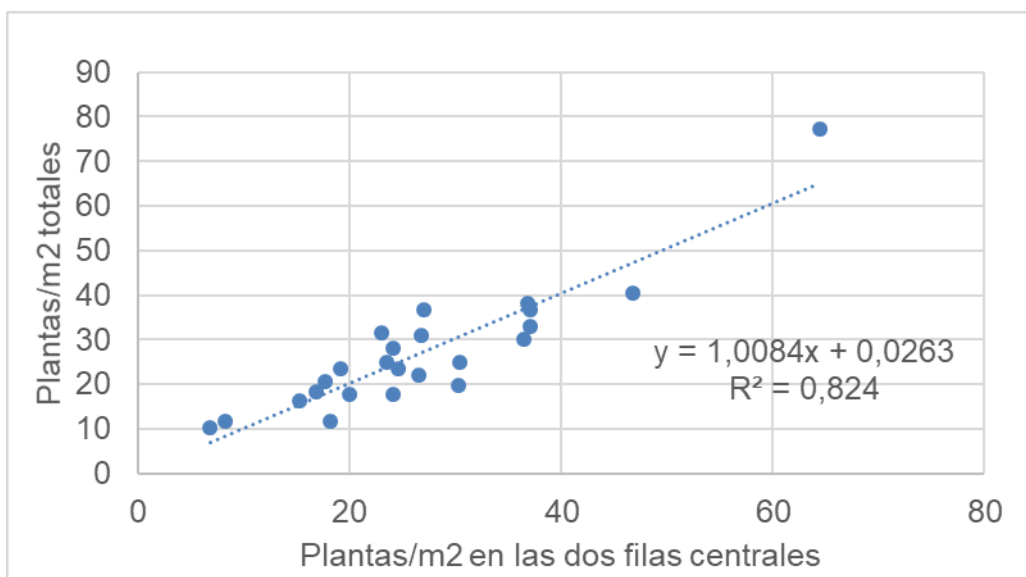
Year	Density	Row Spacing	Biomass per plant (g)	Population biomass (kg ha <sup>-1</sup> )	Pods per plant	Seeds per pod	1000-seed weight (g)	Seed yield per plant (g)	Manually seed yield (kg ha <sup>-1</sup> )
2012-2013	D15	R15	84.74a	11829.7e	303.4a	18.3bc	3.48a	19.31a	2616.0h
		R25	79.53b	11702.8e	290.8b	18.9a	3.40b	18.68b	2689.5g
		R35	81.42b	11757.0e	295.1ab	18.5b	3.46a	18.89ab	2658.0g
	D30	R15	50.46c	13725.1b	201.9c	17.7d	3.36cd	12.00d	3190.5d
		R25	51.58c	13151.9c	204.3c	18.0cd	3.38bc	12.43cd	3088.5e
		R35	52.78c	12672.5d	208.4c	18.3b	3.39b	12.93c	2997.0f
	D45	R15	38.35d	14703.4a	181.4d	16.1c	3.27f	9.55f	3543.0a
		R25	38.75d	13711.7b	183.5d	16.4f	3.31e	9.96f	3387.0b
		R35	40.30d	12748.9d	186.6d	17.0e	3.34d	10.59e	3243.0c
		Coefficient of variation (CV%)		33.20	8.05	22.76	5.52	1.98	29.07
	Mean		57.55	12889.2	228.4	17.7	3.38	13.82	3046.5
2013-2014	D15	R15	98.89a	13363.9cd	324.7a	19.3bc	3.33a	20.78a	2721.0h
		R25	87.91c	12770.2d	307.0c	20.1a	3.22c	19.86b	2814.0g
		R35	91.86b	12706.9d	312.9b	19.6b	3.28b	20.10b	2746.5h
	D30	R15	55.34e	14369.0b	213.8f	18.8d	3.18def	12.78e	3220.5d
		R25	57.39de	13965.9bc	222.5e	19.0cd	3.19cde	13.48d	3183.0e
		R35	59.37d	13290.6cd	231.4d	19.1cd	3.21cd	14.10c	3094.5f
	D45	R15	42.92g	15156.9a	196.8h	16.9f	3.11g	10.34h	3612.0a
		R25	44.92fg	14493.4b	202.3g	17.2f	3.15f	10.96g	3465.0b
		R35	47.36f	13640.4c	211.9f	17.7e	3.17ef	11.88f	3340.5c
		CV%		33.39	5.96	21.07	5.95	2.08	27.92
	Mean		65.11	13750.8	247.0	18.6	3.20	14.92	3133.5
Analysis of variance	Year (Y)		125.3 <sup>***</sup>	32.4 <sup>*</sup>	41.4 <sup>*</sup>	180.9 <sup>**</sup>	477.3 <sup>***</sup>	46.3 <sup>*</sup>	1685.0 <sup>**</sup>
	Density (D)		4685.3 <sup>***</sup>	136.3 <sup>***</sup>	4473.9 <sup>***</sup>	305.4 <sup>***</sup>	269.1 <sup>***</sup>	5291.5 <sup>***</sup>	4650.4 <sup>***</sup>
	Row spacing (R)		10.0 <sup>***</sup>	76.1 <sup>***</sup>	9.5 <sup>***</sup>	51.7 <sup>***</sup>	27.6 <sup>***</sup>	23.1 <sup>***</sup>	243.5 <sup>***</sup>
	Y × D		18.9 <sup>**</sup>	3.5NS	0.4NS	1.6NS	1.5NS	1.6NS	2.5NS
	Y × R		0.9NS	0.1NS	2.5NS	1.4NS	1.5NS	0.6NS	3.5 <sup>*</sup>
	D × R		22.4 <sup>**</sup>	11.3 <sup>**</sup>	15.0 <sup>**</sup>	16.5 <sup>**</sup>	45.2 <sup>**</sup>	19.6 <sup>**</sup>	116.1 <sup>**</sup>
	Y × D × R		3.0 <sup>*</sup>	1.8NS	1.3NS	1.0NS	0.8NS	0.8NS	2.4NS

Fuente: Kuai et al. (2015).

Anexo 2. Polígonos de Thiessen del bloque 1, repetición 1 del híbrido Hyola 575  
CL.



Anexo 3. Correlación entre las plantas totales y las medidas en las dos filas centrales



p-valor <0,0001

Anexo 4. Fenología: evolución cronológica de cada ensayo del cultivo de colza

Arreglo espacial				
	FECHA	Estado de CETIOM		Descripción
		Clasificación	Denominación	
Hyola 575 CL	23-jun.	A	Cotiledonar	Sin hojas verdaderas, dos cotiledones visibles
	29-jun.	A-B1		
	4-jul.	B1-B2	Formación de roseta	1 hoja verdadera desplegada
	11-jul.	B2		2 hojas verdaderas desplegadas
	14-jul.	B3-B4		3 a 4 hojas verdaderas desplegadas
	26-jul.	B4-B5		4 a 5 hojas verdaderas desplegadas
	28-jul.	B5		5 hojas verdaderas desplegadas
	4-ago.	B5-B6		5 a 6 hojas verdaderas desplegadas
	9-ago.	B6-C1		6 hojas verdaderas desplegadas y aumento de la vegetación, aparición de hojas jóvenes
	16-ago.	C2-D1	Yemas unidas	Entrenudos visibles y yemas unidas escondidas por hojas terminales
	18-ago.	D1-D2		Inflorescencia principal despejada aún con yemas unidas
	22-ago.	D2-F1	Floración	Primera flor abierta
	24-ago.	F1-F2		Primera flor abierta, Alargamiento de la vara floral. Numerosas flores abiertas
	1-set.	F2-G1		
	15-set.	G1	Formación de silicuas	Caída de primeros pétalos. Las 10 primeras silicuas menores a 2 cm. Comienza la floración de inflorescencias secundarias
	19-set.	G1-G2		Las 10 primeras silicuas de 2-4 cm.
				Las 10 primeras silicuas mas de 4 cm.
23-set.	G2-G3	Las 10 primeras silicuas comienzan a madurar.		
11-oct.	G4			
21-oct.	G4-Cosecha		Granos coloreados. Cosecha	

Anexo 5. Manejo del cultivo para la variedad Hyola 575CL

Arreglo espacial Hyola 575 CL		
Fecha	Actividad	Dosis
11-may.	Aplicación de glifosato	4 lts/ha.
01-jun.	siembra	
01-jun.	Aplicación de glifosato	6 lts/ha.
02-jun.	Fertilización	cloruro 134 g 0-40-0/6 156 g urea 56 g sulfato 112 g
02-jun.	Riego	
16-jun.	Fertilización	urea azufrada: 168 g/parcela
20-jun.	Riego	
20-jul.	Insecticida	uppercut 200 cc/100lts.
07-jul.	Fertilización	urea azufrada: 100 kg/ha.
12-jul.	Desmalezado a mano	
19-jul.	Herbicida	lontrel 120 cc/ha. verdict 150 cc/ha.
01-ago.	Herbicida	verdict 120 cc/ha.
09-set.	Herbicida	trifulmurón 100 cc/100lts.
18-oct.	Cosecha	