

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA DESUNIFORMIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO
DE COLZA – CANOLA

por

Marcelo FERNÁNDEZ DAGYS
Ignacio MATTOS ROSPIDE
Agustín SILVA MAZZUCHI

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2015

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

Ing. Agr. Oswaldo Ruben Ernst Benech

Ing. Agr. Andrés Locatelli Fagúndez

Fecha: 24 de junio de 2015

Autor:

Marcelo Eduardo Fernández Dagys

Ignacio Mattos Rospide

Agustín Silva Mazzuchi

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiéramos hacerle llegar nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias, 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.

También queremos agradecer a todo el equipo de trabajo del laboratorio de la EEMAC y a todos los funcionarios que de alguna manera u otra colaboraron tanto en la etapa de campo como en los trabajos realizados postcosecha.

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>	3
2.1. IMPORTANCIA DEL PROCESO DE SIEMBRA.....	3
2.2. COMPETENCIA, ARREGLO ESPACIAL DE PLANTAS Y RESPUESTA EN RENDIMIENTO.....	5
2.3. UNIFORMIDAD.....	7
2.4. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA UNIFORMIDAD DEL CULTIVO.....	9
2.5. DEFINICIÓN DEL PERÍODO CRÍTICO DEL CULTIVO Y SUS REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS.....	13
2.6. HIPÓTESIS.....	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	15
3.1.1. <u>Ensayo de muestreo de plantas con distintas áreas</u>	15
3.1.1.1. Manejo agronómico.....	15
3.1.1.2. Determinaciones.....	16
3.1.1.3. Análisis de la información.....	17
3.1.2. <u>Ensayo raleo manual</u>	18
3.1.2.1. Manejo del ensayo y tratamientos asociados.....	18
3.1.2.2. Análisis de la información.....	18
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	19
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO.....	19
4.1.1. <u>Registros en la EEMAC, Paysandú</u>	19
4.1.2. <u>Registros en La Estanzuela, Colonia</u>	23
4.2. ENSAYO EEMAC.....	26
4.2.1. <u>Determinantes de rendimiento</u>	26
4.2.1.1. Componentes numéricos de rendimiento.....	26
4.2.1.2. Componentes no numéricos de rendimiento.....	30
4.2.2. <u>Distribución de áreas</u>	31
4.2.3. <u>Relación entre el rendimiento y área por planta</u>	32
4.2.4. <u>Estimación de rendimiento para distintas distribuciones de plantas</u>	33
4.3. ENSAYO EN COLONIA VALDENSE.....	34
4.3.1. <u>Determinantes de rendimiento</u>	35
4.3.1.1. Componentes numéricos de rendimiento.....	35

4.3.1.2.	Componentes no numéricos de rendimiento.....	37
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	39
6.	<u>RESUMEN</u>	40
7.	<u>SUMMARY</u>	41
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	42

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Manejo del cultivo durante el ciclo, EEMAC.....	16
2. Estadios fenológicos del cultivo, EEMAC.....	16
3. Régimen hídrico mensual, EEMAC.....	20
4. Régimen hídrico decádico, EEMAC.....	20
5. Condiciones agroclimáticas durante el período crítico, EEMAC.....	23
6. Régimen hídrico mensual, La Estanzuela.....	24
7. Régimen hídrico decádico, La Estanzuela.....	24
8. Condiciones agroclimáticas durante el período crítico, Valdense.....	26
Figura No.	
1. Comparación de precipitaciones del año en estudio en la EEMAC y la serie histórica 2002–2013 vinculado al ciclo fenológico del cultivo.....	19
2. Índice de balance hídrico para el período mayo–noviembre 2014.....	21
3. Comparación de temperaturas medias mensuales del año en estudio para la EEMAC y la serie histórica 2002–2013.....	21
4. Comparación de la radiación media mensual del año en estudio para la EEMAC y la serie histórica 2002–2013.....	22
5. Comparación de precipitaciones del año en estudio en La Estanzuela y la serie histórica 1965–2014 vinculado al ciclo fenológico del cultivo.....	24
6. Comparación de temperaturas medias mensuales del año en estudio para La Estanzuela y la serie histórica 1965–2014.....	25
7. Comparación de la radiación media mensual del año en estudio para La Estanzuela y la serie histórica 2002–2013.....	26
8. Rendimiento en grano en función de número de granos por planta según variedad.....	27
9. Número de granos en función del número de silicuas según variedad.....	28
10. Rendimiento en función del peso de mil granos según variedad.....	28
11. Árbol de componentes de rendimiento para la variedad Hyola 575.....	29
12. Árbol de componentes de rendimiento para la variedad Rivette.....	29
13. Rendimiento en grano en función de la biomasa total según variedad.....	30
14. Rendimiento en grano en función del índice de cosecha según variedad.....	31
15. Área ocupada por planta en función de la probabilidad de ocurrencia.....	32
16. Rendimiento en grano en función de los rangos de área según variedad.....	32
17. Comparación entre el rendimiento estimado por el modelo y el real según	

variedad.....	33
18. Relación entre el rendimiento relativo y distancia entre hilera a diferentes CV en la línea según variedad.....	34
19. Rendimiento en función del porcentaje de uniformidad.....	35
20. Rendimiento en función del número de granos por área.....	36
21. Peso de mil granos en función del número de granos por superficie.....	37
22. Rendimiento en función de biomasa según tratamiento.....	37

1. INTRODUCCIÓN

La colza es una oleaginosa de ciclo invernal, perteneciente a la familia de las *Cruciferas* y al género *Brassica* originaria en Asia. Dicho cultivo comprende tres especies: *B. napus*, *B. juncea* y *B. rapa* (ex *Campestris*). 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' Canadá comienza con la labor de mejoramiento genético orientado a obtener aceite comestible (Iriarte y Valetti, 2002). Finalmente en 1974 se logra el desarrollo del primer cultivar de canola ("Canadian Oil Low Acid") caracterizado por presentar bajos contenidos de ácido erúxico en aceite y glucosinolatos en la torta.

En la actualidad el cultivo ocupa el segundo lugar en la producción mundial de oleaginosas (USDA, 2015). 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 entre 15.000 y 20.000 hectáreas (ALUR, 2014). 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 rastrojo 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.m². 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 en la línea sobre el rendimiento final. Para esto se sembraron dos ensayos, uno en Colonia Valdense y otro en la EEMAC, ambos con metodologías de evaluación diferentes, pero que pretenden explicar la asociación entre

la uniformidad de plantas y el rendimiento en grano.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTANCIA DEL PROCESO DE SIEMBRA

El proceso de siembra es de vital importancia ya que en esa operación se determina el arreglo espacial y la densidad de plantas del cultivo. En este proceso se establece si la población y distribución es capaz de interceptar la mayor parte de la radiación incidente durante el período crítico (Tesouro et al., 2009), lograr una utilización eficiente de los recursos disponibles y reducir los efectos perjudiciales de factores bióticos y abióticos (Griepentrog et al., 2011).

Las sembradoras pueden presentar imperfecciones al momento de distribuir la semilla en el plano horizontal y vertical de la línea de siembra. Este aspecto se agrava en situaciones de velocidades excesivas de siembra y lotes de semillas irregulares. Por otra parte, existen múltiples variables que pueden causar variaciones en la emergencia y desarrollo inicial de plantas tales como: variaciones en la profundidad de siembra, contacto irregular entre el suelo y la semilla, deficiencia en los órganos de corte y apertura de surco y vigor de semillas (Bragachini et al., 2012).

La cama de siembra y el mecanismo y profundidad de ubicación de la semilla son aspectos relevantes dado el pequeño tamaño de la misma (3 a 4 gramos el peso de mil granos, 2 mm de diámetro) (Martino y Ponce de León 1999, Rahnama y Habibi 2014). En esquemas de siembra directa, el tipo y distribución de rastrojo en superficie adquiere especial importancia ya que dificulta la germinación e implantación del cultivo si no se logra un buen contacto semilla – suelo (Martino y Ponce de León, 1999). En este sentido, Aguirre y Uriarte (2010) sugieren que sistemas con laboreo son significativamente superiores al 1% de probabilidad para rendimiento y al 5% para producción de aceite e índice de cosecha frente a los de siembra directa. En sistemas de siembra directa, los rastrojos abundantes tienden a complicar la implantación a través de dos mecanismos: por un lado, se compromete la colocación de la semilla a la profundidad deseada y por el otro, el correcto cierre del surco, a su vez, las plantas tienden a sufrir más los efectos de las heladas en las primeras etapas del desarrollo (Cencig y Villar, 2011).

Los efectos de las heladas se agravan cuando al momento de la siembra existe un remanente mayor a 4 Mg ha⁻¹ de rastrojo (Hertel y Edwards, 2011). Experimentos llevados a cabo en Australia evidencian reducciones en la emergencia, establecimiento de plantas, biomasa vegetativa y rendimiento de 25, 33, 46 y 26 % respectivamente por la presencia de 5 Mg ha⁻¹ de rastrojo de trigo al momento de sembrar el cultivo de canola (Hertel y Edwards, 2011). Un trabajo local llevado a cabo por Aguirre y Uriarte (2010) demostró que la implantación fue mayor en situaciones sin rastrojo, en donde la población lograda en términos promedio fue 40 % superior que para el tratamiento con rastrojo en superficie. Para mitigar en parte el efecto negativo del rastrojo en la cama de

siembra existen ciertas prácticas referidas al tren de siembra, como por ejemplo: utilización de barredores de rastrojo y mantenimiento correcto de los discos abresurcos y/o de corte de rastrojo (Pozzolo et al., 2008). Los abresurcos del tipo doble disco (iguales o desencontrados) son más recomendados frente al mono disco ya que proporciona un mejor control de profundidad. El sistema mono disco, a pesar de ser versátil, dependiendo del grado de erosión y tipo de suelo podría provocar desgarros en una de las paredes del surco lo que no contribuye a obtener un control preciso de la profundidad. Con el mismo fin, las doble ruedas controladoras de profundidad son más efectivas que las simples (Pozzolo et al., 2008).

La profundidad de siembra es de primordial importancia ya que ejerce un efecto directo sobre el número de plantas que emerjan y la velocidad de desarrollo de las mismas (Bienzobas, 2007). Numerosos estudios recomiendan una profundidad de siembra alrededor de 1,2 y 2,5 cm (Bienzobas 2007, Hertel y Edwards 2011). Por debajo de la profundidad de siembra recomendada (mayor a 2,5 cm) aumentan los riesgos de fallas en el establecimiento de plantas debido a que gran parte de las reservas se destinan a la elongación excesiva del hipocótilo y en menor medida al crecimiento del sistema radicular. Esto genera plantas con menor área foliar, menor acumulación de materia seca en hojas y raíces, menor crecimiento inicial y una expansión foliar más lenta. Por otra parte, profundidades menores a 1,2 cm aumentan la susceptibilidad a posibles sequías y temperaturas excesivas en superficie (Hertel y Edwards, 2011).

La velocidad de la sembradora es un factor determinante de la uniformidad en el surco. Trabajos llevados a cabo en maíz ratifican que la misma no debe exceder los 5 km h⁻¹ con el objetivo de evitar excesivas vibraciones en los cuerpos de la sembradora y saltos que aumentarían la no uniformidad de copiado del terreno causando disminuciones potenciales en el rendimiento del cultivo (Bragachini et al., 2012). Estudios realizados en canola demuestran que elevadas velocidades de siembra causan detrimentos en rendimiento, ya que se genera una mayor variación en la profundidad de siembra y aumento en la profundidad promedio (Taillieu, 2008). La irregularidad en la colocación de las semillas en el proceso de siembra genera problemas en el ciclo del cultivo desde la germinación hasta la cosecha: mayor período de susceptibilidad a *Plutella xylostella*, dificultades en el control de malezas y madurez del cultivo desigual generando dificultades al momento de hilerado y cosecha, originando pérdidas en rendimiento en esta etapa (Taillieu, 2008).

El mecanismo dosificador a utilizar determina en gran parte la distribución de las plantas en la hilera con diferente precisión. Los dosificadores comúnmente utilizados para la siembra de canola tienen un coeficiente de variación mayor (equivalente a la distancia media entre las plantas de una misma hilera) en comparación al mecanismo de siembra neumático de precisión, 1,2 a 1,5 y 0,5 respectivamente. A pesar de esto, la utilización de sembradoras neumáticas en este tipo de cultivo de alta densidad de siembra y por ende, bajo distanciamiento entre hileras se torna dificultosa y costosa

(Griepentrog et al., 2011). Esto último puede ser justificado debido a un aumento en rendimiento estimado en un 10% por utilizar sembradoras de precisión (Griepentrog et al., 2011).

Investigaciones realizadas por Rahnama y Habibi (2014) comparando diferentes mecanismos de siembra demostraron también que cultivos de canola sembrados con plantadoras neumáticas obtuvieron mayores rendimientos que cultivos sembrados a chorrillo. Dichos autores sostienen que la velocidad de emergencia y el número de plantas establecidas por unidad de área fue mayor en las parcelas sembradas por mecanismo neumático, efecto atribuido a la precisión de siembra de dicha plantadora (Rahnama y Habibi, 2014). Por otro lado, los mecanismos de siembra tanto a chorrillo o neumático, no evidencian diferencias en cuanto a: duración del período de floración, maduración de granos, altura de plantas y en los componentes de rendimiento individual por planta.

2.2. COMPETENCIA, ARREGLO ESPACIAL DE PLANTAS Y RESPUESTA EN RENDIMIENTO

La competencia puede definirse como el proceso a través del cual las plantas comparten recursos que están provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada (Satorre et al., 2003). Ésta tiene efectos negativos sobre la supervivencia, crecimiento y rendimiento de las plantas del cultivo o de su fecundidad. La performance productiva de plantas individuales en una comunidad depende principalmente del nivel de competencia por los recursos con las plantas vecinas (Uriarte et al., citados por Yang et al., 2014). En general se distinguen dos tipos de competencia: inter e intraespecífica. La primera se refiere a la competencia por recursos entre individuos de diferentes especies, razón por la cual escapa del objeto de estudio de la presente tesis. La segunda hace referencia a la competencia entre individuos de una misma especie.

Por otra parte, existen interacciones entre plantas de un cultivo que son no competitivas, es decir, donde la distribución de recursos entre los individuos no constituye la fuerza motriz de las respuestas. Durante el ciclo del cultivo las plantas, no solo interactúan en captura de los recursos del suelo y del espacio aéreo, sino que también reciben y responden a señales del ambiente modificados por la densidad de plantas y su arreglo espacial (Satorre et al., 2003). Si bien cuantitativamente el efecto de este tipo de interacciones es de menor importancia a los mediados por competencia, existen resultados experimentales que demuestran que pueden causar efectos directos en la morfología y arquitectura de la planta. Tal es el caso de la calidad de luz cuantificada en la relación rojo/rojo lejano que plantas vecinas en el cultivo pueden alterar (Satorre et al., 2003).

La magnitud del efecto que ejerce la competencia sobre el cultivo está determinada básicamente por: la densidad de siembra y el arreglo espacial de los

individuos. La densidad de plantas ha sido una medida de manejo ampliamente estudiada por diversos investigadores. En este sentido, la canola es un cultivo plástico y dentro de ciertos rangos de densidades de siembra no varía su rendimiento, dependiendo de la calidad del ambiente. Los mecanismos que explican dicha compensación son: capacidad de producir más hojas, más ramificaciones de las yemas axilares y más silicuas por planta en situaciones de bajas densidades (Menegassi et al., 2011).

Ensayos en Canadá demuestran que para las condiciones de este país no existieron variaciones significativas de rendimiento en un rango poblacional de 60 a 200 pl m⁻² (Thomas, citado por Martino y Ponce de León, 1999). Similares valores de rendimiento fueron encontrados para las condiciones de Uruguay con poblaciones de 70 a 150 pl m⁻² (Martino y Ponce de León, 1999) y de Argentina con rangos de 80 a 150 pl m⁻² (Gomez y Piaggio, citados por Martino y Ponce de León, 1999). Por lo tanto de acuerdo a la bibliografía consultada, para la región, rangos poblacionales de entre 80 y 150 pl m⁻² no deberían ser limitantes para obtener rendimientos elevados. Densidades por debajo del rango recomendado, la producción se ve afectada por la mala utilización de la radiación, agua y nutrientes (Iriarte, 2014). A densidades por encima del rango óptimo recomendado, producen reducción en rendimiento como consecuencia de la competencia intraespecífica. Cada planta producirá menos ramificaciones, tallos más delgados, menos silicuas y por ende menos granos m⁻² (Iriarte, 2014). Otro aspecto a resaltar es que a elevadas poblaciones las plantas son más susceptibles a las enfermedades sin ningún beneficio en cuanto a incremento en rendimiento (Etamendi et al., 2013).

En lo que refiere a la producción de aceite, la misma está determinada en mayor medida por el rendimiento obtenido y en menor medida por el contenido de aceite en grano. El efecto de la densidad sobre el contenido de aceite no muestra una tendencia clara. Algunos estudios han demostrado que el contenido de aceite aumentó significativamente con el aumento de la densidad debido a que la proporción de semillas del tallo principal aumenta en detrimento a los tallos secundarios. Cabe destacar que el porcentaje de aceite que contienen las semillas del tallo principal es aproximadamente 1% superior al de las ramas (Zhang et al., 2012). Este concepto concuerda con estudios realizados por Coll (2010) que afirman que por cada 10 plantas m⁻² extra se incrementa 0,13% el contenido de aceite para rangos poblacionales de entre 50 y 120 plantas m⁻². En un trabajo llevado a cabo por Awishalem (2013), el porcentaje de aceite tendió a decrecer de 36 % a 27 % cuando la densidad de siembra disminuyó de 268 a 55 plantas m⁻². Sin embargo, muchas veces al aumentar la densidad por encima del óptimo para el sitio, si bien se registra mayor concentración de aceite por planta, cuando se traduce a producción de aceite por unidad de superficie, la misma disminuye por causa de un menor rendimiento (Zhang et al., 2012).

En contraposición, Chen et al., citados por Awishalem (2013), demostraron que el contenido de aceite descendió de 20 a 10 gr kg⁻¹ cuando la densidad de siembra se

incrementó de 11 a 97 semillas m^{-2} . En este sentido, Van Deynze et al. (1992) demostraron una pequeña disminución en el contenido de aceite cuando la densidad de siembra aumentó de 3 a 9 $kg\ ha^{-1}$. Por otro lado, Morrinson, citado por Van Deynze et al. (1992), Ozer (2003), Potter et al., citados por Shahin y Valiollah (2009), Leach, citado por Menegassi et al. (2011) reportaron que no existe una relación clara y consistente entre el espaciamiento entre hileras y la densidad de siembra sobre el contenido de aceite.

En cuanto al arreglo espacial, una medida de manejo que influye en gran parte sobre el mismo es la distancia entre hileras. Ésta última tiene un gran impacto en el cultivo de canola afectando crecimiento, desarrollo, rendimiento y los componentes del mismo. El óptimo espaciamiento entre hileras y distancia entre plantas debe ser determinado para cada condición agroecológica (Uzun et al., 2012). 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, Alves 2000).

Se ha constatado que en la medida que se acorta la distancia entre hileras se obtiene mayor rendimiento porque se logra mayor establecimiento de plantas por unidad de superficie. Este mayor rendimiento a espaciamientos más angostos se debe a una menor competencia intraespecífica entre plantas de una misma hilera que resulta en un mayor número de silicuas por planta, mayor número de granos por silicua y mayor producción de materia seca por unidad de superficie (Morrison, citado por Van Deynze et al., 1992). El rendimiento y contenido de aceite fueron mayores cuando se utilizaron distancias entre hileras de 12 a 24 cm en comparación a 48 cm (Ohlsson, citado por Uzun et al., 2012). Similares conclusiones llegó Ozer (2003), indicando que la distancia entre hileras de 15 cm significó aumentos en rendimiento de 8 a 40 % en comparación a distancias entre 30 y 45 cm. Otros efectos que genera el acortamiento entre hileras son: plantas de menor altura, mayor incidencia de ciertos insectos plagas, menor mortandad de plantas en condiciones predisponentes para enfermedades y mejor competencia frente a malezas por cobertura del surco más temprana en el ciclo (Uzun et al., 2012).

2.3. UNIFORMIDAD

En la naturaleza, las comunidades de organismos vivos adquieren diversos patrones de distribución espacial con el objetivo de optimizar la utilización de los recursos (Legendre y Fortín, citados por Yang et al., 2014). Los patrones de distribución juegan un rol fundamental en variados eventos ecológicos, como lo son: estabilidad de la comunidad, competencia interespecífica, mantenimiento de la biodiversidad y la productividad (Perry et al., 2002). 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). Según López Pereyra et al., citados por Tesouro et al. (2011) la uniformidad del cultivo genera la explotación óptima de los recursos del ambiente

evitando una excesiva competencia entre individuos muy próximos y la generación de espacios sin plantas en los cuales los recursos dejan de ser aprovechados.

Los factores que determinan un establecimiento no uniforme en la distribución de plantas son: imperfección de los mecanismos de siembra utilizados, factores bióticos y abióticos (Huhn et al., 2001). Existen múltiples motivos por los cuales la falta de uniformidad puede llegar a limitar el rendimiento potencial alcanzable, destacándose la distribución inequitativa de los recursos, tales como agua y nutrientes entre plantas, competencia intraespecífica entre individuos que comienza durante los estadios tempranos de desarrollo del cultivo y la ineficaz supresión de las malezas debido a la estructura espacial del cultivo (Griepentrog et al., 2011).

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).

Recientes estudios realizados en Canadá (Yang et al., 2014) demuestran que cultivos de canola con implantaciones uniformes resultaron en mayores rendimientos. Bajo la misma densidad de plantas, cultivos que se establecieron uniformemente tuvieron mayores rendimientos en grano en comparación a implantaciones carentes de uniformidad. Sin embargo, los efectos de la uniformidad sobre el rendimiento son mayores en condiciones de sitios categorizados de bajo potencial de rendimiento. En tal sentido, densidades de siembra de 20, 40, 60 y 80 pl m⁻² en sitios de bajo potencial de rendimiento se obtuvieron 32, 22, 8 y 7 % de mermas en rendimiento respectivamente en parcelas no uniformes en comparación a las parcelas uniformes. En sitios de alto potencial, los resultados indican un aumento en rendimiento de 21 % para densidades menores a 60 pl m⁻². Este aumento de rendimiento en grano no solo se explica por una mayor eficiencia en la utilización de los recursos disponibles, sino que también puede deberse a una mayor competitividad por parte del cultivo frente a las malezas y una reducción en los daños causados por insectos plagas e incidencia de enfermedades. No obstante, la brecha de rendimiento se achica y deja de ser estadísticamente significativa a densidades de plantas por encima de 60 pl m⁻² en sitios de alta potencialidad para producir grano de canola (Yang et al., 2014).

La relación entre el número de silicuas fértiles y el rendimiento es potenciada por la uniformidad de implantación del cultivo. El número de silicuas fértiles en canola es el principal componente de rendimiento (Naghizadeh y Hasanzadeh, 2012). Una

distribución uniforme de las plantas modifica la distribución de las silicuas en el perfil del canopeo promoviendo la sincronización de formación de las mismas y el desarrollo de los granos. Debido a lo anterior, los granos poseen mayor uniformidad de maduración con mayores contenidos de aceite y proteína (Leach et al., citados por Menegassi et al. 2011, Naghizadeh y Hasanzadeh 2012). En cambio, un estand de plantas establecidas sin uniformidad aumenta la competencia intraespecífica, lo que reduce la distribución de la radiación, causa deficiencias nutricionales y limita el desarrollo de silicuas fértiles lo que se traduce en disminuciones en el rendimiento (Yang et al., 2014).

Según Johnson y Hanson, citados por Yang et al. (2014) la menor disponibilidad de recursos que causa la competencia intraespecífica resulta en menor cantidad de silicuas fértiles debido a que se reduce la distribución de asimilados hacia las mismas obteniéndose menor cantidad de granos y además, se genera un acortamiento del periodo de llenado de granos. Existe una relación lineal entre número de silicuas fértiles y rendimiento independientemente de la uniformidad o no del cultivo. Sin embargo, cabe destacarse que el efecto de la uniformidad se acentúa a densidades bajas (Yang et al., 2014).

2.4. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA UNIFORMIDAD DEL CULTIVO

Históricamente, el efecto de la distribución de plantas sobre la productividad ha tenido poca relevancia en el área de investigación (Kristensen et al. 2005, Yang et al. 2014). Estudios previos sobre esta temática de uniformidad tuvieron un enfoque más bien ecológico, sin extenderse exhaustivamente en el área de la investigación agrícola donde la distribución de plantas es descripta en categorías muy generales. La información sobre cómo afectan los patrones de distribución de los cultivos, es limitada especialmente en canola (Kristensen et al. 2005, Yang et al. 2014). Diversos investigadores han estudiado únicamente la uniformidad en base al espaciamiento de plantas dentro de la hilera, por lo tanto el análisis ha sido unidimensional (Panning et al., 2000). Los métodos más difundidos en la bibliografía para cuantificar el efecto de la uniformidad sobre el rendimiento en el cultivo de canola son: Polígonos de Thiessen (Hühn 2003, Griepentrog et al. 2011) y raleo manual (Yang et al., 2014).

Diferencias en el área disponible de plantas individuales determina la existencia de efectos de competencia causados por tales interferencias entre plantas. De esta manera, el estudio de la variabilidad de área disponible por planta resulta de gran importancia. Diversos estudios encabezados por Hühn (1999, 2000a, 2000b, 2003) tuvieron como objetivo la cuantificación de la depresión en rendimiento (Y) causada por patrones de distribución espacial de plantas no uniformes. Para dicha cuantificación, utiliza dos variables: el rendimiento individual por planta (S) y el área disponible por individuo (A), relacionados de la siguiente manera: $Y=S/A$.

El área individual por planta se estimó a partir del método de los polígonos de

Thiessen. Éstos se definen como los polígonos más pequeños que pueden obtenerse por la unión de las perpendiculares de los puntos medios de las rectas que unen una planta determinada con cada una de sus competidoras vecinas. El polígono alrededor de una planta incluye todos los puntos más cercanos a la misma que a cualquier otra (Hühn, 2003). En este modelo, el área del polígono representa el área potencialmente disponible para el crecimiento de la planta. Su magnitud numérica simula la disponibilidad de recursos para crecimiento y factores esenciales del ambiente (luz, agua, nutrientes, espacio físico) para cada planta individualmente. Estos polígonos son mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos de la superficie total (Hühn, 2003).

Los procesos involucrados en el crecimiento de una población y formación del rendimiento son mucho más complejos de lo que puede describirse a través de consideraciones netamente espaciales. Sin embargo, los polígonos de Thiessen son al menos, una medida razonable y comparable del área bidimensional disponible y pueden proveer variables independientes útiles para predecir el crecimiento de plantas (Hühn, 2003).

El efecto de patrones de distribución espacial no uniformes sobre el rendimiento se puede expresar en parte a través de la varianza del área de los polígonos de Thiessen. Este parámetro, sin embargo, depende fuertemente de la precisión de la tecnología de siembra utilizada (Hühn, 2003). En sus diversos trabajos, Hühn llega, a partir de la utilización de diversas herramientas de la matemática y estadística, a una aproximación teórica, que provee una estimación cuantitativa de la reducción en rendimiento causada por patrones de distribución de plantas no uniformes. La misma está representada por la siguiente ecuación:

$$Y @ \frac{1}{k_1 + k_2 \bar{A}} - \frac{k_1 + k_2}{(k_1 + k_2 \bar{A})^3} S_A^2$$

El rendimiento (Y) depende del área media de los polígonos (\bar{A}) y de la varianza de las áreas individuales por planta (σ_A^2). k_1 y k_2 son constantes determinadas a partir de la información de múltiples experimentos. El rendimiento por unidad de área es compuesto de dos términos aditivos: el primero depende solo del área media individual por planta, mientras que el segundo de la media y la varianza del área individual por planta simultáneamente. Este último término, es proporcional a la varianza del área individual por planta, es decir que tiende a cero cuando ésta tiende a cero. El segundo término en dicha ecuación puede ser interpretado como el efecto de la variabilidad en el área individual de plantas sobre el rendimiento.

En esta interpretación, el rendimiento (Y) se reduce frente a incrementos en la variabilidad de A . La ecuación provee una estimación cuantitativa de la pérdida en rendimiento causado por patrones de distribución espacial de plantas no uniformes. A

menor $\bar{\sigma}_A^2$ (mayor uniformidad) el rendimiento aumenta y tiende a ser igual al primer término de la ecuación.

Los resultados demuestran que aumentos en la uniformidad espacial de individuos en un área determinan incrementos en el rendimiento, explicados por menores interferencias entre los mismos con igual reparto de recursos. A su vez, se sugiere que el patrón de distribución ideal es aquel representado por hexágonos equiláteros que reducen a cero la varianza de los polígonos de Thiessen. Otros factores a considerar para medir el grado de competencia, además del área disponible por planta son: el número, tamaño y proximidad de los competidores vecinos. Tales mejoras deberían incluir conceptos de espacio disponible tridimensional por planta. A su vez, parece ser necesario la introducción de medidas dinámicas, modelos de interferencias de las comunidades de plantas, en lugar de descripciones estáticas con representaciones del estado del sistema en un solo momento. El análisis por lo tanto debe considerar cambios temporales y tendencias a lo largo del tiempo (Hühn, 2003).

Según Griepentrog et al. (2009, 2011), el área del polígono no se espera sea el único factor del mismo que influye sobre el crecimiento de las plantas. La forma y posición de la planta dentro del mismo deberían estar afectando también. Si bien la canola tiene la habilidad de adaptarse a diversas condiciones de espaciamiento a través de su plasticidad, la utilización de recursos probablemente sea limitada para polígonos excesivamente alargados y posicionamientos excéntricos dentro del mismo, que pueden ser comunes a elevados valores de rectangularidad y coeficiente de variación. Estos autores propusieron como objetivo de trabajo investigar el efecto potencial de la uniformidad, desde una óptica bidimensional sobre el rendimiento en el cultivo de canola. Utiliza para medir el área disponible por planta los polígonos de Thiessen, corrigiendo por excentricidad y forma de dichos polígonos. Las áreas de estos polígonos fueron utilizadas para investigar la influencia de dos de las determinantes más relevantes de la uniformidad espacial de la siembra: distancia entre hileras y distanciamiento de plantas dentro de una misma hilera, sobre el rendimiento por unidad de área y preguntarse cómo cambios en la tecnología de siembra pueden afectar la performance del cultivo. La primera, es expresada por la rectangularidad (q), definida como la distancia entre hileras dividida entre la distancia media entre plantas dentro de la hilera. El segundo parámetro está expresado por el coeficiente de variación (CV) del espaciamiento entre plantas adyacentes dentro de una misma hilera. El uso de la rectangularidad hace que el análisis sea independiente de la densidad de plantas.

Los diferentes patrones de distribución espacial fueron generados a partir de variaciones en rectangularidad en el rango de 0 a 6 y CV en el rango de 0 a 1,5. Estos rangos fueron sugeridos como corrientes y posibles patrones alcanzados comúnmente en el establecimiento de cultivos (Griepentrog et al., 2009). La relación entre el rendimiento de una única planta m (g) y el área disponible A (mm^2) para estos ensayos puede ser descrita por una ecuación derivada de un análisis de regresión (Hühn 2001, Griepentrog

2011):

$$m = k_1 + k_2 \ln(A)$$

siendo los valores de k los siguientes: $k_1 = -84,8$ y $k_2 = 9,707$

Si bien los valores de k_1 y k_2 utilizados en este estudio no son los mismos que los utilizados por Hühn (2001), son muy similares.

Cabe destacar que Griepentrog et al. (2011), a diferencia de Hühn (2001) no solo enfoca el análisis en el cálculo del área, sino que además agrega la compactación (C) y la excentricidad (E) de cada polígono. Por otra parte, en situaciones de formas de polígonos o posicionamientos extremos dentro de los mismos, el autor utiliza dos variables de ajustes: k_{forma} y $k_{excentricidad}$.

Los resultados indicaron que un patrón agregado de plantas dentro de la hilera (CV>1.0) y alta rectangularidad ($q>4.0$) dieron lugar a los rendimientos más bajos estimados. Rendimientos estimados basados únicamente en las áreas de los polígonos fueron mayores para bajas rectangularidades y alta uniformidad dentro de la hilera. La uniformidad de las plantas dentro de la hilera generalmente tuvo un efecto mayor que la rectangularidad. Altos coeficientes de variación produjeron bajos rendimientos. Dado un coeficiente de variación, el efecto por variar la rectangularidad parece ser menos importante. Altos rendimientos fueron logrados por bajos coeficientes de variación (CV<0.4) y una rectangularidad entre 0.5 y 4.0. A su vez, el autor sugiere que la corrección por la forma del polígono es importante con altos valores de rectangularidad. Esto es razonable ya que para elevados valores de q se puede asumir que a pesar de la alta plasticidad del cultivo de canola, el área disponible en un polígono elongado puede ser utilizado únicamente a través de un costo energético extra para la planta. Por otra parte, la corrección por excentricidad se vuelve importante para altos valores de CV y bajos de q . Esto es porque altos valores de q resultan en polígonos con forma muy elongada, con plantas con posicionamientos centrados y son prácticamente independientes de la uniformidad dentro de la hilera. Los resultados sugieren que una forma promisoriosa para aumentar el rendimiento de canola sería utilizar sembradoras de precisión que proporcionaran un espaciamiento de plantas dentro de la hilera más uniforme (CV<0.5). Siembras de precisión generarán un patrón de siembra con $q=1$ y CV=0.5 que se traducirá en incrementos de rendimiento entorno a 10%.

El otro método utilizado para el estudio de uniformidad fue el presentado por Yang et al. (2014) en su investigación, donde evaluó como afecta el rendimiento la uniformidad de plantas en el cultivo de canola, a diferentes densidades de siembra, utilizando el método de raleo manual. El mismo consistió en nueve tratamientos que fueron dispuestos en un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Los

tratamientos fueron cinco densidades espaciales uniformes de plantas (100, 80, 60, 40, y 20 pl m⁻²) y cuatro densidades de plantas no uniformes (80, 60, 40 y 20 pl m⁻²). Los tratamientos uniformes se establecieron mediante el ajuste de la sembradora a las densidades de siembra deseados. Los tratamientos no uniformes fueron hechos a partir de tres pasos: (1) se sembró una densidad objetivo de 100 pl m⁻², (2) luego se raleó manualmente plantas dentro de las hileras en el estadio de tres hojas de la siguiente manera: para el tratamiento de densidad no uniforme de 80 pl m⁻², se ralean 20 pl m⁻² al azar. De manera similar, para las restantes densidades de plantas no uniformes de 60, 40 y 20 pl m⁻², 40, 60 y 80 pl m⁻² fueron raleadas al azar respectivamente y (3) luego se chequea el raleo asegurándose que se hayan obtenido las densidades objetivos y la no uniformidad deseada. En madurez fisiológica cuatro plantas representativas fueron seleccionadas por cada parcela uniforme, mientras tanto en las parcelas no uniformes dos plantas fueron tomadas de las hileras del borde de la parcela y las otras dos en el medio de la misma. De dichos ejemplares extraídos se contabilizaron la cantidad de silicuas fértiles que al menos contenían un grano. El número de silicuas fértiles m⁻² fue calculado a partir del promedio de silicuas por planta extraída multiplicado por la cantidad de plantas m⁻². Luego al momento de la cosecha de las parcelas se obtuvo el dato de rendimiento.

2.5. DEFINICIÓN DEL PERÍODO CRÍTICO DEL CULTIVO Y SUS REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

El período crítico del cultivo comienza con la aparición de botones florales y tiene su máximo a los 30 días de comenzada la floración (Tamagno et al., 1999), no obstante durante todo el desarrollo fenológico del cultivo se van generando todos los componentes numéricos y fisiológicos del rendimiento. Esta ventana crítica en la cual cualquier disminución de los recursos (radiación, agua y nutrientes) o algún estrés producirá una importante merma en el rendimiento, también fue identificada por otros autores (Iriarte 2009, Agosti 2011). La misma se ubica aproximadamente en las dos semanas o 350° Cd posteriores al inicio de la floración equivalente a estados de desarrollo F1 a G2 según escala CETIOM (20 a 30 días). En dicho periodo se define el nivel de abortos de flores y el número de granos por planta, siendo este último el componente que explica la mayor variación en el rendimiento. Cabe destacar que en mencionado lapso de tiempo ocurre un cambio de estructura fotosintetizantes en el cual la silicuas comienzan a jugar un rol preponderante (Agosti, 2011).

En lo que refiere a los requerimientos térmicos, la especie presenta una temperatura base de crecimiento de 5°C y un rango de temperatura de desarrollo de 12°C a 30°C con un valor óptimo de 20°C. En lo que respecta al requerimiento de agua adecuada para el desarrollo del cultivo, el mismo debe de presentar 50 % de la humedad de suelo disponible en la zona radicular, lo que significa un requerimiento hídrico aproximado entre 300 y 400 mm en todo el ciclo del cultivo (Iriarte, 2009).

2.6. HIPÓTESIS

La hipótesis del presente estudio es que existe relación entre la uniformidad de distribución de plantas y su rendimiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de tesis se llevó a cabo en la zafra de invierno 2014 y consistió en un muestreo aleatorizado de un grupo de plantas correspondiente a un ensayo ubicado en el departamento de Paysandú, Uruguay. En paralelo a dicha localidad se realizó un ensayo de raleo manual para generar diferentes niveles de uniformidad en la localidad de Colonia Valdense, departamento de Colonia. A continuación se presentan detalles de la metodología utilizada en cada sitio.

3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1.1. Ensayo de muestreo de plantas con distintas áreas

El experimento se realizó en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” perteneciente a la Facultad de Agronomía (UdelaR) ubicada sobre la ruta 3, km 363. El suelo corresponde a un Brunosol éutrico típico, unidad San Manuel. La etapa experimental se extendió de fines de mayo hasta mediados de noviembre.

Para el estudio se sembraron cuatro parcelas por variedad y se utilizaron dos variedades (Rivette y Hyola 575 cl). El diseño utilizado fue un factorial de variedad por desuniformidad en bloques (tres bloques al azar). El tamaño de la parcela fue de 18 m² (2,4 m de ancho por 7,4 m de largo) por lo que el área total de muestreo era de 432 m² (24 parcelas x 18 m²). Como no se logró la implantación objetivo, generándose problemas de uniformidad mayores a los esperados y la población no se mantuvo constante, se seleccionaron y marcaron tres plantas en cada una de las parcelas, totalizando 72 individuos. Cada uno de ellos fue considerado una unidad experimental.

3.1.1.1. Manejo agronómico

El cultivo de canola fue sembrado sin laboreo sobre un rastrojo de moha para fardos. A continuación se detalla el manejo del cultivo.

Cuadro No. 1. Manejo del cultivo durante el ciclo, EEMAC.

Fecha	Actividad	Dosis
15/05	Aplicación de Lontrel pre emergente	150 cc ha ⁻¹
29/05	Siembra	7 kg ha ⁻¹ Rivette / 9 kg ha ⁻¹ Hyola 575
10/06	Fertilización basal	90 kg ha ⁻¹ KCl + 150 kg ha ⁻¹ 7-40-0/5 + 50 kg ha ⁻¹ Urea
15/07	Aplicación de Lontrel	150 cc ha ⁻¹
17/07	Re fertilización	150 kg ha ⁻¹ Urea en B4
18/07	Aplicación de Intrepid	150 cc ha ⁻¹ en B4
03/08	Re fertilización	150 kg ha ⁻¹ Urea en C1
06/08	Aplicación de Intrepid	150 cc ha ⁻¹ en C2
09/08	Aplicación de Intrepid	150 cc ha ⁻¹ en D1

3.1.1.2. Determinaciones

Durante el ciclo del cultivo se midieron las siguientes variables: número de plantas vecinas, distancia entre éstas y el individuo muestreado y distancia entre plantas vecinas. A partir de estos datos se confeccionó para cada planta de interés una grilla en dónde las plantas vecinas a cada planta de interés se ubicaron en un eje x/y dónde el 0/0 correspondía a cada planta de interés. Con esta información se estimó el área de cada polígono de thiesen mediante el programa ArcMap®.

Además de esto, durante el ciclo del cultivo se realizó el seguimiento fenológico utilizando la escala CETIOM debido que es la más difundida en Europa y la región. En el siguiente cuadro se detalla los diferentes estadios fenológicos del cultivo según fecha.

Cuadro No. 2. Estadios fenológicos del cultivo, EEMAC.

		Estadio		
Fecha	Variedad	Clasificación	Denominación	Descripción
25-jul	-	B6	Roseta	6 hojas verdaderas desarrolladas.
6-ago	Rivette	D1	Elongación	Inflorescencia visible.
	Hyola 575	C2	Elongación	Entrenudos visibles. Vestigios de ramificaciones principales.
15-ago	Rivette	F1	Floración	Primeras flores abiertas.
	Hyola 575	F1-2	Floración	Numerosas flores abiertas.
23-ago	Rivette	G1-2	Floración	Caída de pétalos. 10 primeras silicuas de 2 cm de largo.
	Hyola 575	G1-2	Floración	Caída de pétalos. 10 primeras silicuas de 2 cm de largo.
14-oct	-	G3-4	Maduración	Silicua de más de 4 cm. Coloreado de granos.

A cosecha, se cortó cada planta de interés por separado, y se midieron las

siguientes variables por planta: número de silicuas, materia seca total (g), peso de granos (g) y rendimiento (g). En base a estos datos se determinaron las siguientes variables: peso de mil granos (g), índice de cosecha (IC), número de granos por silicua y número de granos por planta.

3.1.1.3. Análisis de la información

Para lograr evaluar el impacto de la uniformidad sobre el rendimiento a partir de la información generada en este experimento lo primero que se hizo fue relacionar el área disponible por planta y el rendimiento individual en una regresión lineal. Como la variabilidad encontrada en rendimiento para cada rango de áreas fue muy importante, se ajustó el modelo lineal utilizando el promedio de rendimientos para rangos de áreas de 50 cm² crecientes de 0 a 1000 cm² (15 rangos). 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. Posteriormente, para evaluar el desempeño del modelo se estimó la raíz de cuadrado medio del error:

$$RCME = \sqrt{MSD}$$

dónde

$$MSD = (\sum (S-O)^2)/n$$

Donde

S = simulado

O = observado

n = número de observaciones

Una vez obtenidos los modelos de predicción de rendimientos se procedió a la realización de distintos patrones de distribución de plantas con tres niveles de uniformidad (0, 60 y 200 % de CV) de 60 pl m⁻² para dos distancias entre hileras (19 y 38 cm). Cabe destacar que para todos los casos se mantuvo una población fija distribuidas en parcelas de 5 hileras con 2 metros de largo.

Posteriormente mediante la utilización del software ArcMap® se elaboraron los Polígonos de Thiessen para cada uno de los seis patrones de distribución logrados, permitiendo así la obtención del área individual por planta. Tomando como referencia la fila central de cada patrón y a partir de las áreas obtenidas, se calculó el rendimiento esperado por planta mediante los modelos de predicción previamente desarrollados. A partir de la suma del rendimiento de cada planta individual en el área conocida, se estimó el rendimiento (kg ha⁻¹) para cada patrón de distribución. Con esto se pudo, determinar la existencia o no de un efecto entre el arreglo de un estand de plantas y su

rendimiento.

3.1.2. Ensayo raleo manual

Este ensayo fue instalado en el campo experimental de Greising y Elizarrú en el departamento de Colonia en la localidad de Colonia Valdense. El diseño fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los suelos en el lugar se corresponden con Brunosoles Subéutricos Háplicos de la formación San Gabriel-Guaycurú.

3.1.2.1. Manejo del ensayo y tratamientos asociados

El experimento se sembró el 29 de mayo con el material primaveral Hyola 575 cl. Se sembró una población alta (10 kg semilla ha⁻¹) de forma que existan suficientes plantas para hacer el raleo. Las parcelas tenían 6 surcos (0,38 cm de distancia entre fila) y 5 m de largo. Se generaron 4 niveles de uniformidad, medido como el coeficiente de variación de la distancia entre plantas (0, 25, 75 y 100%). Para esto se generaron previamente patrones de distancias entre plantas que a una población dada de 60 pl m⁻² se distribuyeran de acuerdo a los tratamientos previstos. Por lo tanto, la población no se modificó entre tratamientos y el único factor en juego es la distribución de las plantas en la línea.

A cosecha se estimó la biomasa total acumulada y el rendimiento, a partir de la cosecha de los dos surcos centrales de cada parcela. Una vez trillada la muestra se estimó el peso de mil granos contando en tres oportunidades 100 granos. La cosecha se llevó a cabo el día 24/10.

3.1.2.2. Análisis de la información

Para el análisis de datos se utilizó el software Infostat 2011/p. Se realizó un análisis de varianza simple y la separación de medias se hizo utilizando el procedimiento de mínima diferencias significativas (MDS).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

4.1.1. Registros en la EEMAC, Paysandú

La condición hídrica durante el ciclo del cultivo nunca fue deficitaria, excepto en el mes de agosto que la lluvia fue significativamente inferior en comparación a la serie histórica (Figura 1). Sin embargo, el cultivo no sufrió déficit ya que los suelos se encontraban recargados de agua por las lluvias registradas en los meses anteriores durante la siembra y primeros estadios de desarrollo. El año se caracterizó por ser Niño, superando al promedio de la serie en 546 mm anuales (27,3%), lo que posiblemente provocó problemas de exceso hídrico. Las excesivas lluvias durante el otoño, específicamente durante el mes de mayo generaron inconvenientes atrasándose la fecha de siembra y problemas en la implantación del cultivo (específicamente al día siguiente de la siembra llovieron 54 mm). Debido a que la cosecha se anticipó al mes de noviembre (mes de excesivas lluvias) no se afectó la fase de llenado de grano y maduración como sucedió en los cultivos invernales más tardíos.

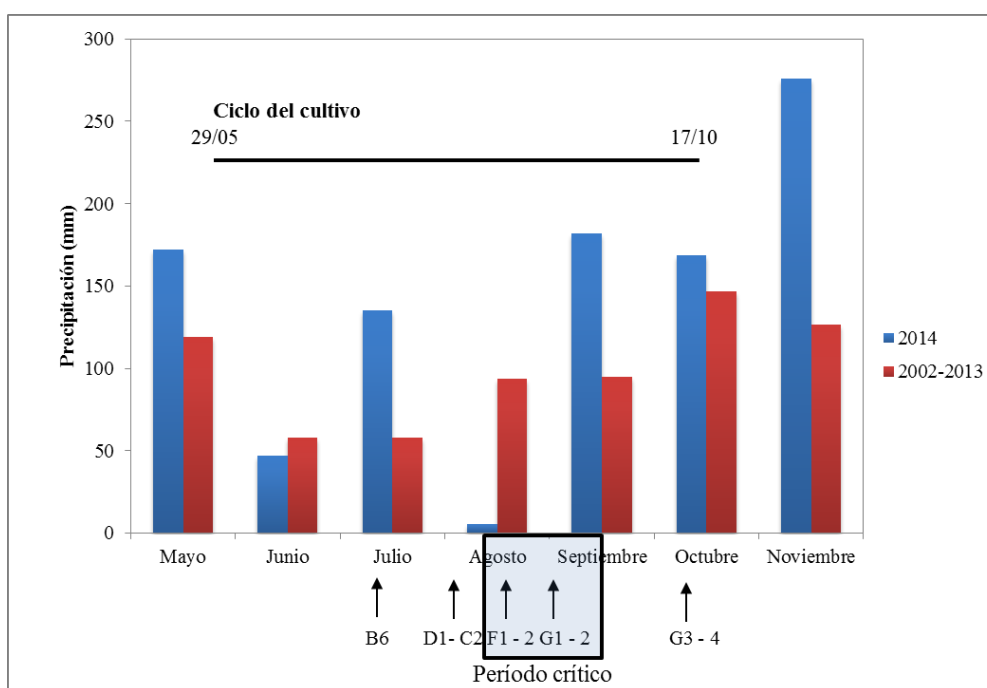


Figura No. 1. Comparación de precipitaciones del año en estudio en la EEMAC y la serie histórica 2002 – 2013 vinculado al ciclo fenológico del cultivo.

Cuadro No. 3. Régimen hídrico mensual.

	Mayo (*)	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre (*)	Total general
Suma de Precipitación (mm)	54,9	46,8	135	5,7	182	142,9	567,3

*en el mes de mayo se contabiliza a partir del 29 y en octubre es hasta el 17.

Cuadro No. 4. Régimen hídrico decádico.

	1er década	2da década	3ra década	Total
Mayo			54,9	54,9
Junio	6,6	38,7	1,5	46,8
Julio	52,2	51,5	31,3	135
Agosto	2,9	0,9	1,9	5,7
Septiembre	69,3	96	16,7	182
Octubre	133	9,9		142,9
Total				567,3

*en el mes de mayo se contabiliza a partir del 29 y en octubre es hasta el 17.

El período crítico del cultivo se ubicó entre las fechas 15 de agosto al 15 de setiembre aproximadamente.

Tomando en cuenta las fechas y el registro de precipitación decádica se puede constatar que si bien el cultivo no tuvo deficiencias hídricas durante la mayor parte del ciclo, durante el período crítico de determinación de rendimiento hubo escasas precipitaciones. Específicamente, 15 días previos al comienzo del período crítico cesa de llover y continúa hasta la mitad del mismo, luego comienzan las precipitaciones hasta finalizar el periodo y continúan posteriormente. Si bien hubo déficit hídrico en el marco del mes de agosto, el mismo no fue tan acentuado debido a que el suelo ya venía recargado. Esto último se respalda en los valores de Índice de Balance Hídrico (IBH) registrados (INIA. GRAS, 2014) durante el mes de agosto que rondan en un rango de 70 a 80%. Esto determina que el cultivo a pesar de los excesos de lluvia haya logrado un potencial alto, en la medida que las condiciones climáticas fueron muy buenas durante dicho período crítico.

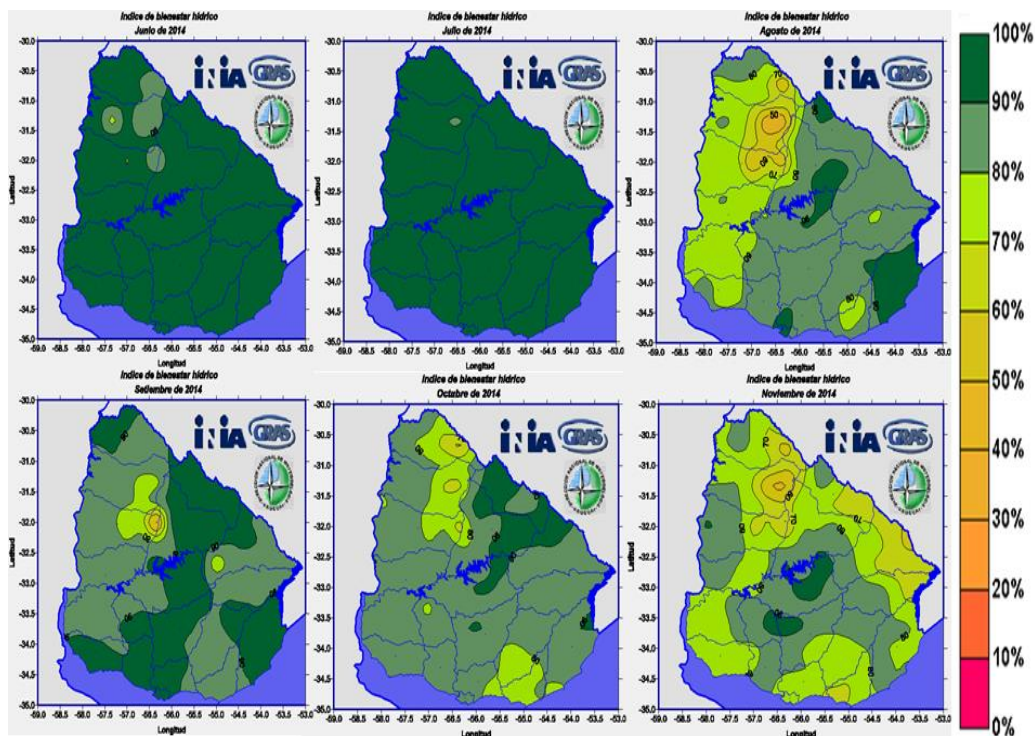


Figura No. 2. Índice de balance hídrico para el periodo mayo–noviembre 2014.

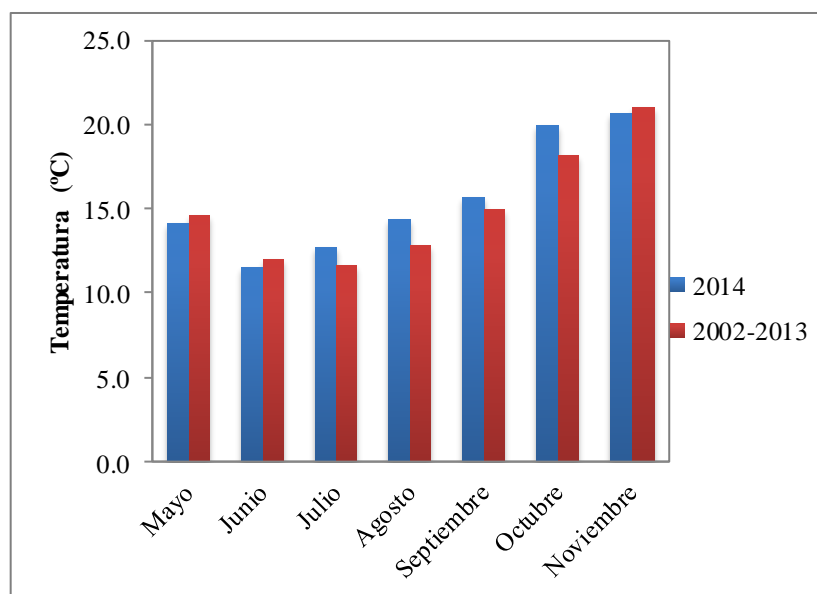


Figura No. 3. Comparación de temperaturas medias mensuales del año en estudio para la EEMAC y la serie histórica 2002 – 2013.

Teniendo en cuenta la información presentada (Figura 3) podemos afirmar que fue un año caracterizado por tener un invierno con temperaturas superiores a la media histórica mensual. Esto significó que las temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo adquirieran valores comprendidos en el rango óptimo de desarrollo sugerido por Iriarte (2009). Las mismas se ubicaron en un rango de 12 a 20°C durante todo el ciclo, específicamente entorno al período crítico registró valores de 15°C. En base a lo anterior podemos afirmar que el aumento de temperatura del año 2014 por encima de la media histórica favoreció al cultivo de canola y no fue limitante para lograr rendimientos elevados.

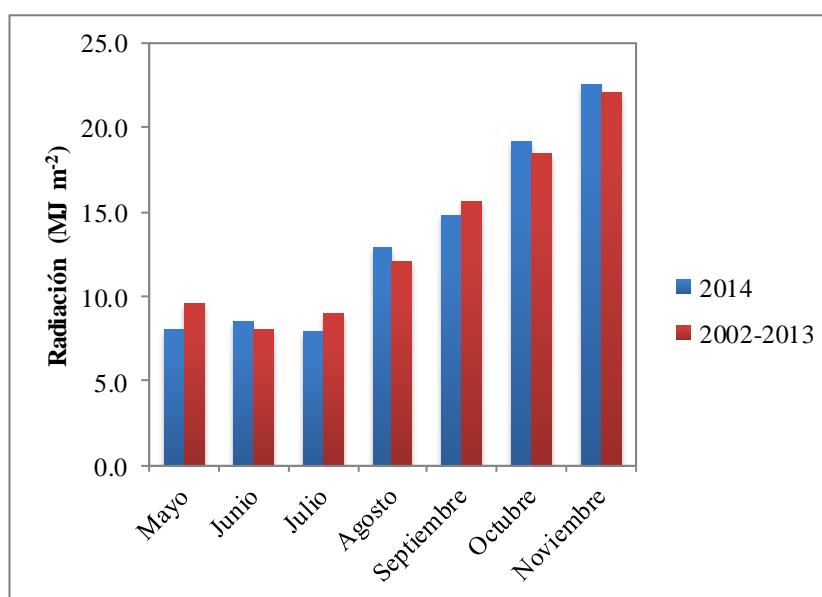


Figura No. 4. Comparación de la radiación media mensual del año en estudio para la EEMAC y la serie histórica 2002 – 2013.

Si bien era de esperar que en un año con precipitaciones frecuentes la radiación solar fuera inferior a la media, no se observa un efecto claro y a su vez en cuatro de los siete meses analizados la radiación es superior en el período considerado con respecto a la serie histórica. Las escasas precipitaciones registradas durante el período crítico llevaron a que la radiación registrada en dicho momento estuviera por encima de la media de la serie histórica. Por lo tanto la radiación no fue limitante para alcanzar altas tasas de crecimiento de cultivo en el período crítico y lograr buenos rendimientos.

A modo de conclusión, a pesar de haber sido un invierno con excesos hídricos, las condiciones de temperaturas por encima de la media histórica durante todo el ciclo del cultivo en conjunto con la excelente radiación entorno al período crítico, sumado además con buena disponibilidad de agua en el suelo definieron un año con elevado potencial de rendimiento para el cultivo de canola.

Cuadro No. 5. Condiciones agroclimáticas durante el período crítico (*).

Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Radiación (MJ * m ²)
15,5	167,5	12,7

*Datos promedio diarios.

4.1.2. Registros en La Estanzuela, Colonia

Para evaluar la condición climática del ensayo en Colonia Valdense se utilizaron los registros de la estación experimental INIA La Estanzuela, debido a su proximidad con el mismo.

En base al análisis de la Figura 5 y a los datos correspondientes al índice de bienestar hídrico (IBH) proporcionados por el INIA (Figura 2) se puede determinar que fue un año sin restricciones hídricas, salvo en el mes de agosto en el cual se registraron los menores valores de IBH del ciclo del cultivo, llegando a valores entorno al 70%. Cómo se mencionó anteriormente en el análisis climático para la EEMAC el año se caracterizó por ser Niño superando en 810 mm al promedio histórico para la serie 1965 - 2014. Las lluvias en el mes de mayo fueron significativamente inferiores a las registradas en la EEMAC, lo que permitió lograr una mejor implantación con respecto a la mencionada localidad.

Cabe destacar que en el mes de junio las precipitaciones fueron relativamente inferiores a la media histórica, sin embargo el cultivo no sufrió deficiencias hídricas debido a que el suelo estaba recargado por las precipitaciones registradas en el mes anterior. Este aspecto se ve reflejado en el valor de IBH registrado para el mes de junio que alcanza valores de 80 %. Un aspecto a resaltar que el período de cosecha escapa de las copiosas precipitaciones registradas a fines de octubre, evitando inconvenientes en las etapas finales del cultivo.

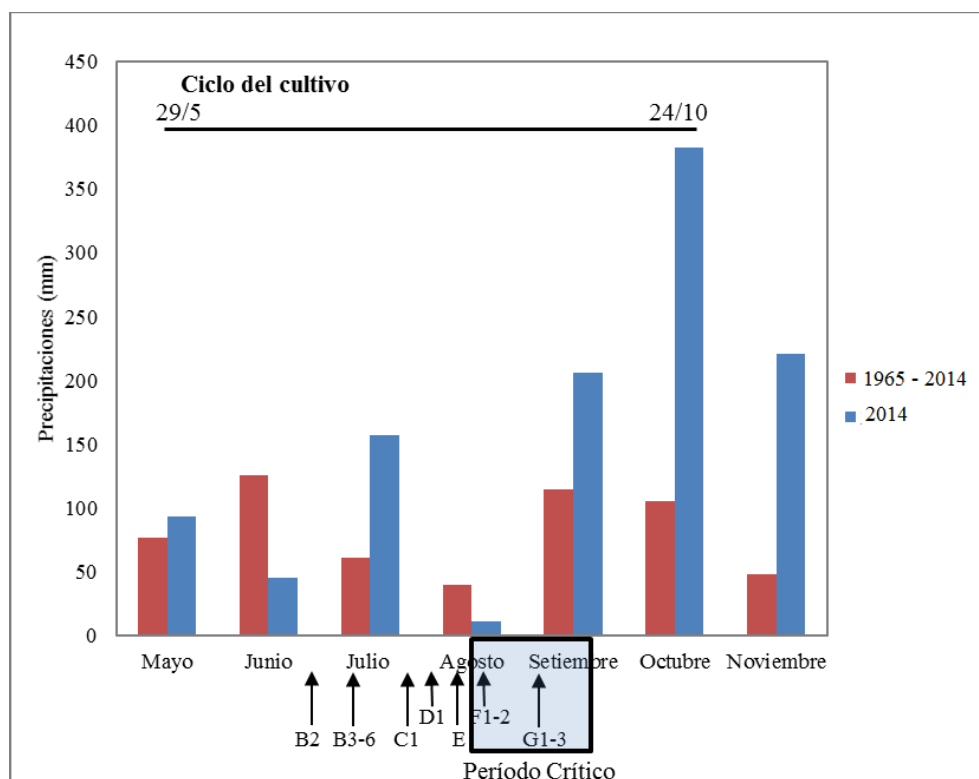


Figura No. 5. Comparación de precipitaciones del año en estudio en La Estanzuela y la serie histórica 1965 – 2014 vinculado al ciclo fenológico del cultivo.

Cuadro No. 6. Régimen hídrico mensual.

	Mayo (*)	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre (*)	Total general
Suma de Precipitación (mm)	10,8	45,0	157,4	11,3	206,2	95,1	525,8

*en el mes de mayo se contabiliza a partir del 29 y en octubre es hasta el 24.

Cuadro No. 7. Régimen hídrico decádico.

	1er década	2da década	3ra década	Total
Mayo			10,8	10,8
Junio	6,7	38,3	0,0	45,0
Julio	39,1	90,0	28,3	157,4
Agosto	2,1	0,0	9,2	11,3
Setiembre	85,9	87,7	32,6	206,2
Octubre	94,8	0,3		95,1
Total				525,8

*en el mes de mayo se contabiliza a partir del 29 y en octubre es hasta el 24.

Teniendo en cuenta que el período crítico del cultivo se ubicó entre el 20 de agosto al 10 de setiembre y observando las precipitaciones decádicas, se puede afirmar que el agua no fue una limitante para alcanzar altas tasas de crecimiento en el período crítico. Si bien se registran escasas lluvias en el mes de agosto, las precipitaciones ocasionadas en las décadas anteriores al mes de agosto y la primera década de setiembre contrarrestaron esta situación. Los valores de IBH (70-100%) y agua disponible en suelo (90 mm) para el período crítico respaldan dichas afirmaciones.

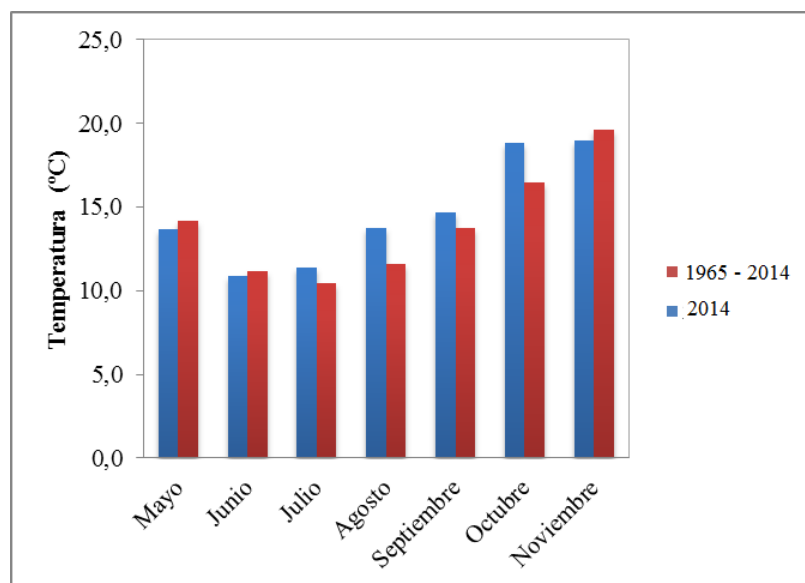


Figura No. 6. Comparación de temperaturas medias mensuales del año en estudio para La Estanzuela y la serie histórica 1965 – 2014.

En lo que respecta a la temperatura se puede afirmar que se mantiene la tendencia de lo ocurrido en la EEMAC. Es decir que fue un año con temperaturas por encima de la temperatura promedio a la serie histórica pero que no limitaron el rendimiento debido a que las mismas estuvieron entorno a los 11 y 20 grados en todo el ciclo del cultivo. Dichas temperaturas están dentro de los valores comprendidos en el rango óptimo de desarrollo sugerido por Iriarte (2009).

En lo que respecta al efecto de la radiación, si bien el mismo no es claro, no representa una limitante para la obtención de elevadas tasas de desarrollo durante el ciclo, registrándose valores por encima de la media histórica en mayor parte del ciclo del cultivo (Figura 7).

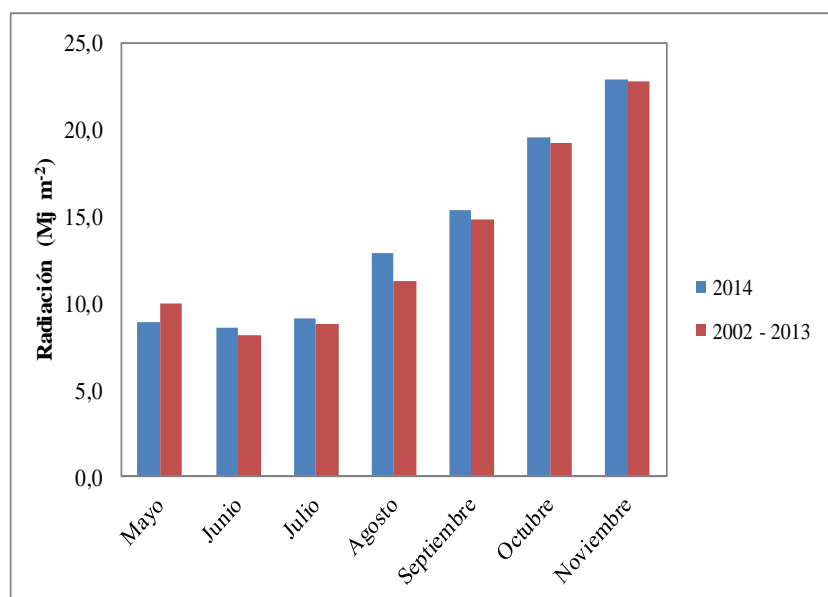


Figura No. 7. Comparación de la radiación media mensual del año en estudio para La Estanzuela y la serie histórica 2002 – 2013.

En resumen, a pesar de haberse tratado de un invierno caracterizado como “Niño” con precipitaciones superiores a la serie histórica, las buenas condiciones de temperaturas y radiación en todo el ciclo y en especial entorno al período crítico, sumado a la buena implantación y la posibilidad de escapar a los elevados registros de precipitaciones de fines de octubre, permitieron que el clima no fuera una limitante para alcanzar altos niveles de rendimiento en Canola.

Cuadro No.8. Condiciones agroclimáticas durante el período crítico (*), Valdense.

Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Radiación (MJ * m ⁻²)
14,2	95,1	12,22

*Datos promedio diarios.

4.2. ENSAYO EEMAC

4.2.1. Determinantes del rendimiento

4.2.1.1. Componentes numéricos de rendimiento

Como sucede en la mayoría de los cultivos el número de granos por planta fue la variable que en mayor medida explicó la variación del rendimiento independientemente de la variedad ($P < 0.0001$). Dicha variable explicó en 99 y 96% de la variación del rendimiento para Hyola 575 y Rivette respectivamente (Figura 8). Los

datos presentados coinciden con las referencias bibliográficas (Aguirre y Uriarte 2010, Coll 2010). Similares valores de correlación entre el rendimiento y el número de granos ($R^2=98\%$) fueron reportados por Agosti (2011), observando además estabilidad en el peso de mil granos e índice de cosecha.

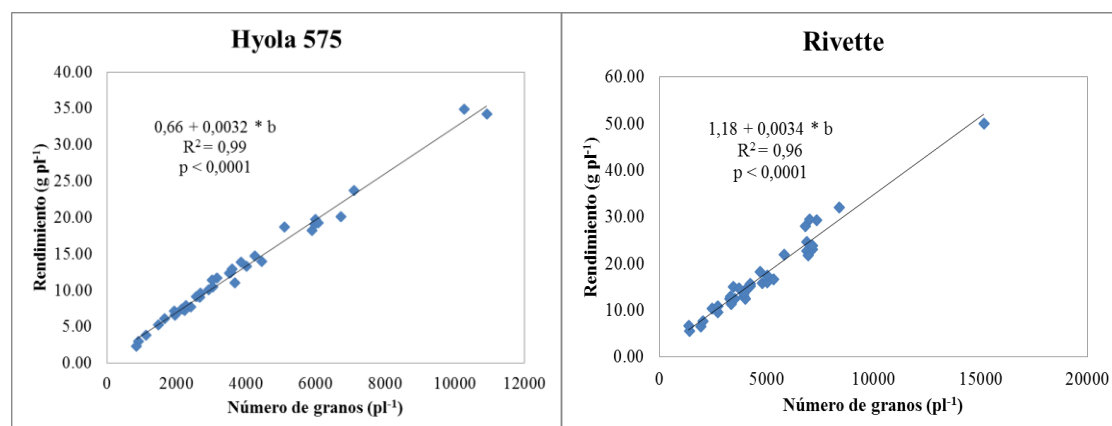


Figura No. 8. Rendimiento en grano en función de número de granos por planta según variedad.

El componente número de granos tuvo una estrecha correlación positiva con el número de silicuas por planta (Figura 9). De esto se deduce que cuanto mayor número de silicuas por metro cuadrado se traducirá en un mayor número de granos por unidad de superficie y por ende en un aumento en rendimiento. Estos resultados concuerdan los reportados para el cultivo por Naghizadeh y Hasanzadeh (2012), quienes indican que el principal componente del rendimiento en canola es el número de silicuas fértiles por unidad de superficie. A pesar de esto existen diferencias relevantes entre los coeficientes de determinación, siendo sustancialmente inferior en Rivette ($R^2=0,46$) con respecto a Hyola 575 ($R^2=0,87$). Esto puede estar explicado por la mayor homogeneidad en el número de granos/silicua que existe en el híbrido Hyola 575, por lo cual aumentos en el número de silicuas por planta se traduce en un aumento lineal en el número de granos. Sin embargo cuando se calculó el coeficiente de variación para la variable número de granos/silicua, si bien existieron diferencias entre variedades (24 y 22,8 % para Rivette e Hyola 575 respectivamente) las mismas no son tan importantes como para explicar las diferencias encontradas en los coeficientes de determinación de la regresión número de granos por planta en función del número de silicuas por planta. Cabe destacar que Rivette es una variedad e Hyola 575 un híbrido, por lo que se puede concluir que el grado en que las distintas variables explican el número de granos pueden ser distintos en la medida que la homogeneidad de cada planta es distinta.

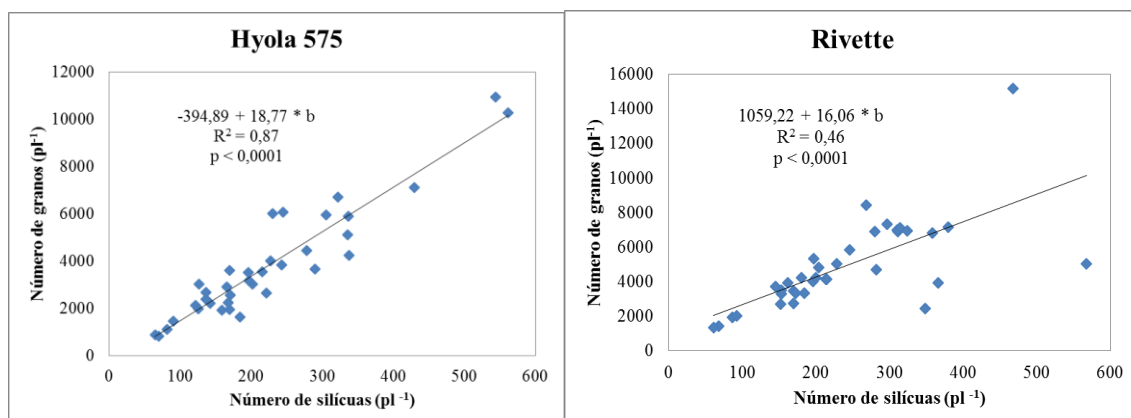


Figura No. 9. Número de granos en función del número de silicuas según variedad.

El peso de mil granos no estuvo relacionado con el rendimiento ($P < 0,0001$). Resultados similares fueron reportados por múltiples autores (Diepenbrock 2000, Coll 2011). Estudios realizados en Argentina reafirmaron mencionados conceptos llegando a la conclusión de que los cambios en rendimiento no se asocian a variaciones en el peso de mil granos, como tampoco se obtuvo correlación entre peso de mil granos y número de granos (Agosti, 2011). Además reportaron que el componente peso de mil granos tuvo un rango de variabilidad estrecho ($CV=5,6\%$). Esto coincide con los datos obtenidos en el presente trabajo cuyos valores de coeficiente de variación para la variable en cuestión fueron los siguientes: 11,08 y 6,64 % para Rivette e Hyola 575 respectivamente.

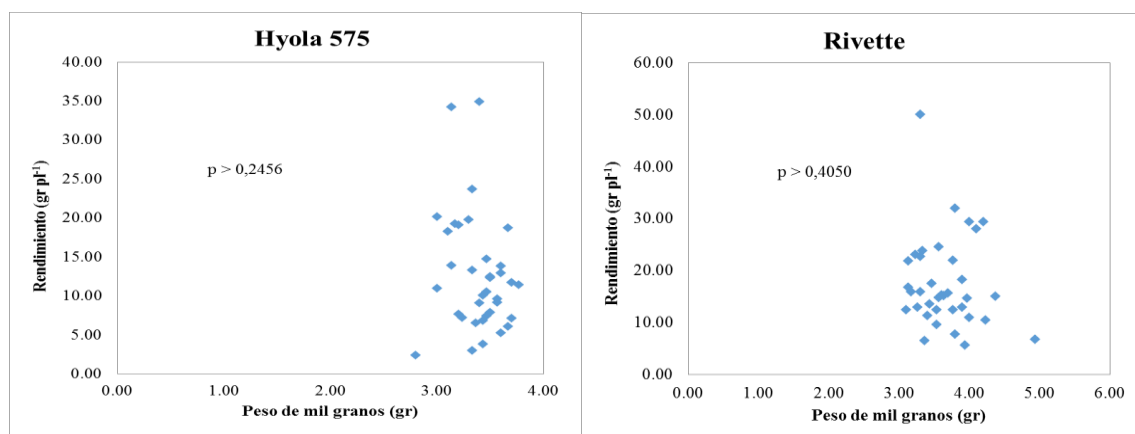


Figura No. 10. Rendimiento en función del peso de mil granos según variedad.

Estas relaciones pueden verse con claridad en los árboles de clasificación y regresión (Figura 11 y 12). En los mismos, se indica el número de granos por planta y sus determinantes. Para ambas variedades, el número de silicuas es el principal

determinante del número de granos y el que provoca las mayores separaciones entre grupos. En segundo nivel aparece el número de granos por silicua separando grupos a niveles menores, lo que refuerza la idea que dado que el mayor determinante en el número de granos son las silicuas concretadas y posteriormemnete el tamaño de dichas silicuas.

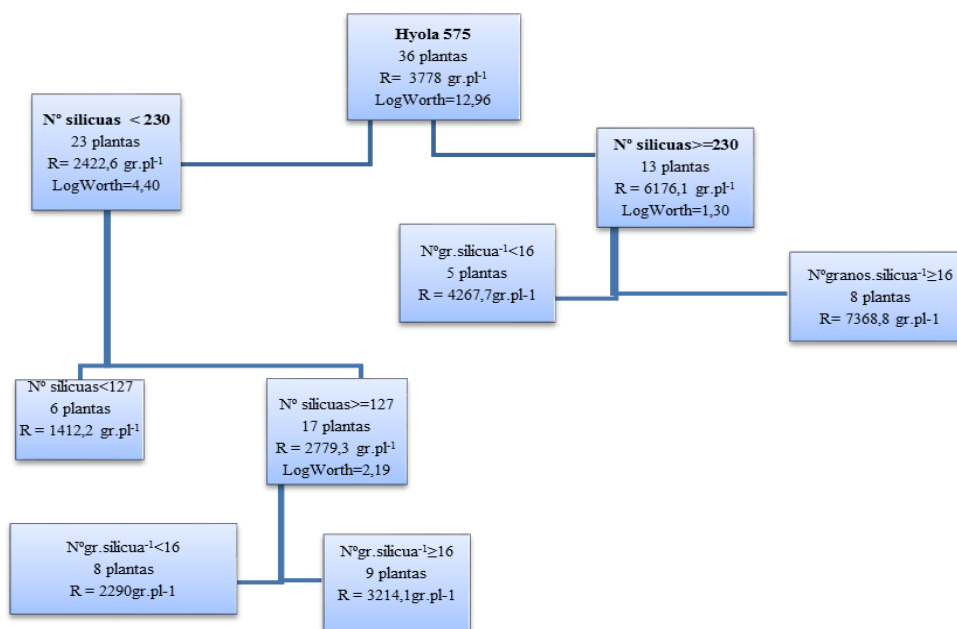


Figura No. 11. Árbol de componentes de rendimiento para la variedad Hyola 575.

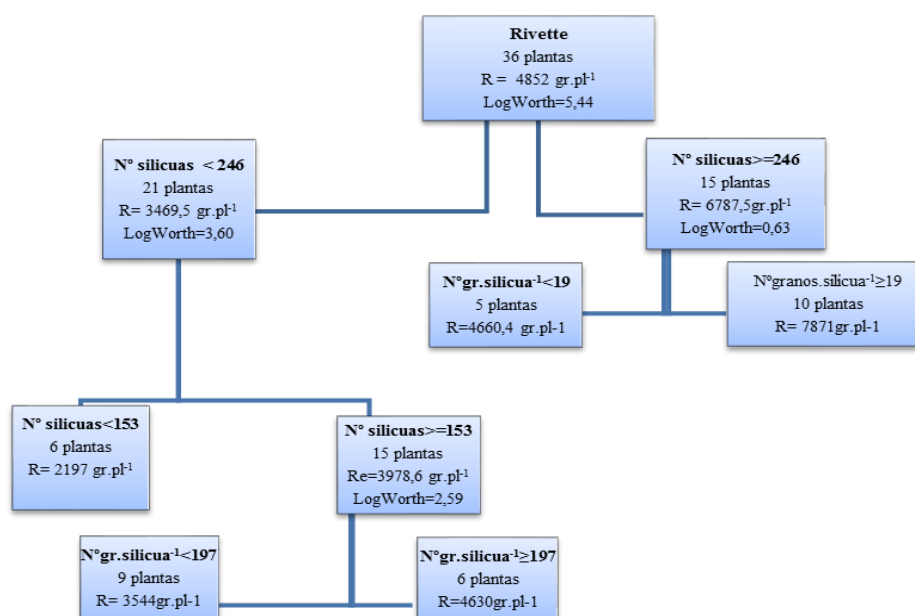


Figura No. 12. Árbol de componentes de rendimiento para la variedad Rivette.

4.2.1.2. Componentes no numéricos de rendimiento

La biomasa acumulada total explicó en mayor medida el rendimiento en grano en ambos genotipos, algo que previamente ya había sido reportado e indicaba que el rendimiento en grano está fuertemente asociado con la biomasa acumulada a floración (Quintana, 2013). Por lo tanto, cualquier factor reductor de crecimiento que genere acortamientos en la fase vegetativa reducirá la acumulación de materia seca a floración y por ende, producirá una merma en rendimiento (Hertel y Edwards, 2011).

Otro trabajo llevado a cabo en Argentina sugiere que los cambios en el rendimiento fueron asociados positiva y significativamente ($P < 0,0001$) con cambios en la biomasa aérea total, obteniéndose valores de correlación (R^2) entre 0,95 y 0,90 para dos variedades (Agosti, 2011).

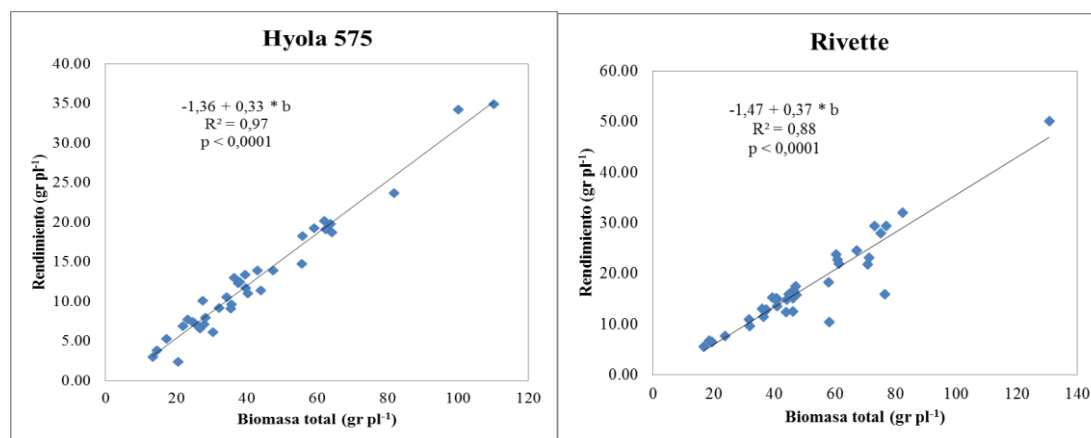


Figura No. 13. Rendimiento en grano en función de la biomasa total según variedad.

El índice de cosecha explica en menor medida las variaciones en rendimiento de las plantas ya que tiende a ubicarse en un estrecho rango de valores entre 0,25 y 0,35 (Aguirre y Uriarte 2010, Hertel y Edwards 2011).

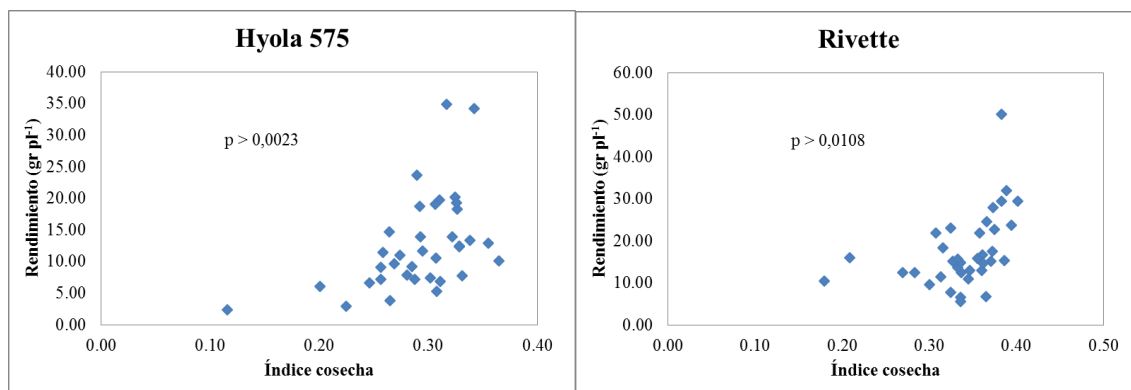


Figura No. 14. Rendimiento en grano en función del índice de cosecha según variedad.

4.2.2. Distribución de áreas

En ambos cultivares, se logró que la mayor parte de las plantas tuvieran disponible áreas por planta que se encuentran entre los 200 cm² y los 800 cm² sin diferencias entre materiales ($P < 0,2463$) (Figura 15).

El hecho que las distribuciones sean semejantes asegura que si el modelo evaluado para rendimiento por planta en función del área disponible por planta no ajusta o existen diferencias entre materiales, las mismas van a estar explicadas por un efecto varietal y no por un efecto indirecto generado por diferentes distribuciones de datos.

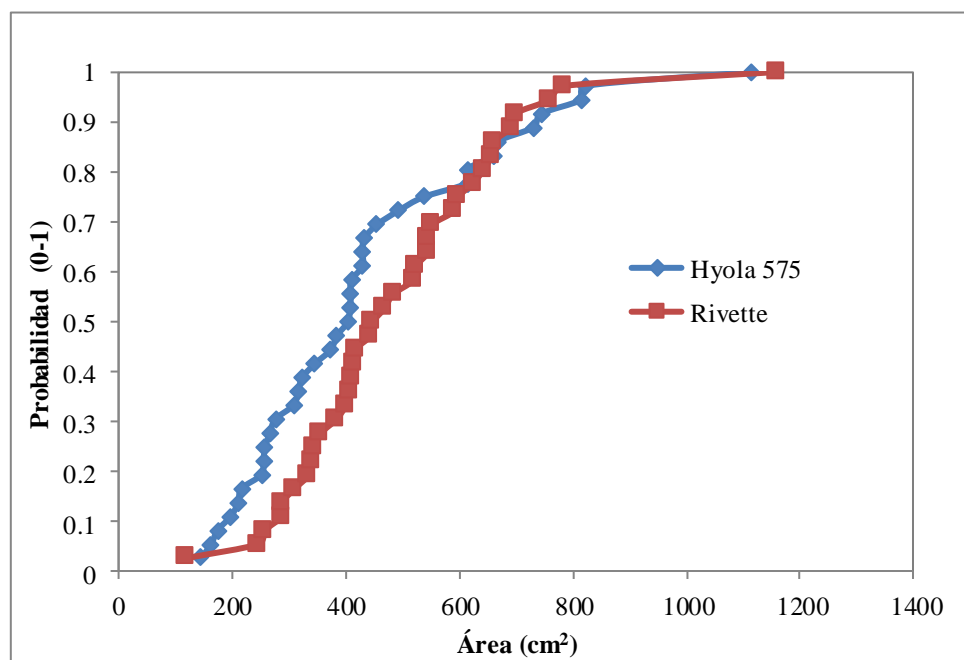


Figura No. 15. Área ocupada por planta en función de la probabilidad de ocurrencia.

4.2.3. Relación entre el área por planta y rendimiento

El ajuste entre el área por planta y el rendimiento de acuerdo a los rangos utilizados fue adecuado, con diferencias en el modelo entre materiales (Figura 16) aunque con un mejor ajuste en el material Hyola 575 que en Rivette.

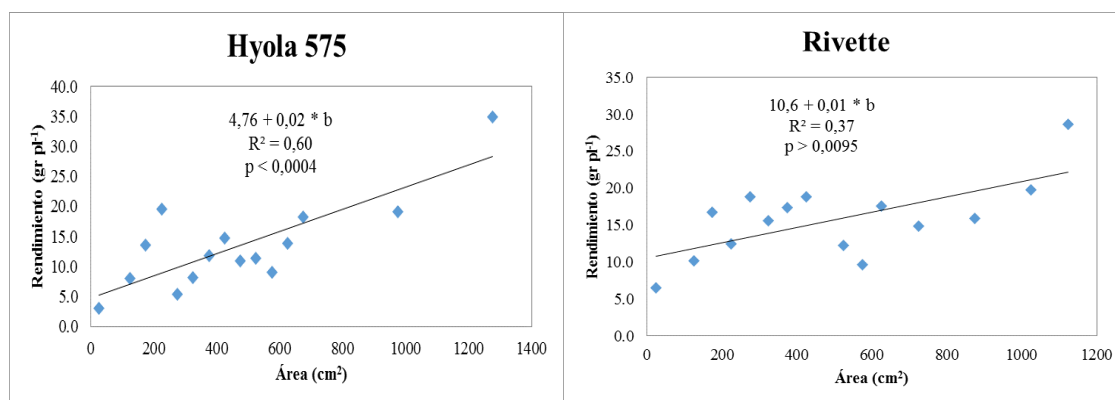


Figura No. 16. Rendimiento en grano en función de los rangos de área según variedad.

Cuando se evaluó el ajuste de los modelos de regresión con los datos reales, los porcentajes de error (%RCME) fueron de 7 y 9 % para Rivette e Hyola 575 respectivamente. Dichos valores sugieren que el modelo estima adecuadamente los

rendimientos, cometiendo errores que pueden considerarse aceptables, lo cual puede verse en la ubicación de los datos en relación a la línea 1:1 (Figura 17).

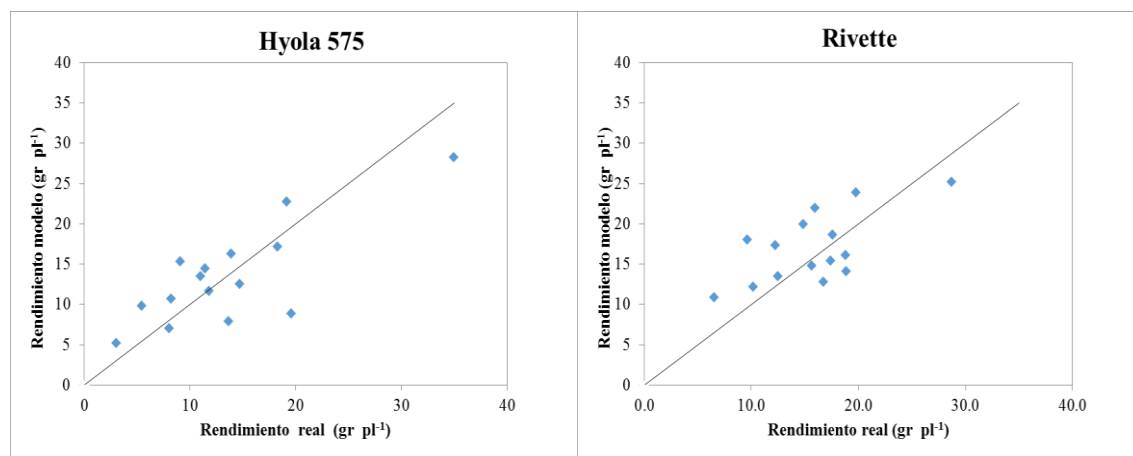


Figura No. 17. Comparación entre el rendimiento estimado por el modelo y el real según variedad.

4.2.4. Estimación de rendimiento para distintas distribuciones de plantas

Los resultados de simulación de arreglo espacial permiten afirmar que el mayor rendimiento se logra con una distribución espacial uniforme de los individuos. En la medida que el coeficiente de variación aumentó se produjo un descenso en el rendimiento relativo, independientemente de la variedad y la distancia entre hileras considerada (Figura 18). Similares resultados en canola fueron reportados recientemente por Yang et al. (2014).

Para ambas variedades, la distribución uniforme $CV=0\%$ no se puede determinar que distancia entre hileras es más conveniente debido a que el modelo estima el rendimiento tomando en cuenta únicamente el área. Esto puede ser una limitante en condiciones de elevada rectangularidad debido a las formas elongadas de los polígonos y a bajos niveles de rectangularidad con CV elevados por la excentricidad del posicionamiento de las plantas. Estas limitantes fueron también observadas a su vez por Griepentrog et al. (2009, 2011). Debido a que no se modifica la población al variar la distancia entre hileras no varía el área disponible por planta. Por este motivo resulta indiferente la comparación entre ambas.

El cultivar Rivette tuvo una mayor merma en el rendimiento relativo a medida que el cultivo presenta arreglos espaciales menos uniformes. En este sentido, distribuciones con CV de 200% produjeron un descenso de 14% y 13% para 19 y 38 cm de distancia entre hileras respectivamente. Mientras que para Hyola 575 el descenso en rendimiento fue de 10% para ambas distancias entre hileras. Dichas diferencias puede

deberse a que el modelo de predicción ajusta mejor para esta última (Figura 16).

En lo que refiere a la distancia entre hileras, en situaciones de cultivos con arreglo de menor uniformidad (200 % CV) el rendimiento relativo disminuye en mayor magnitud cuando se acorta la distancia entre filas. Esto se debe a que al mantener la población fija, a distancias entre hileras mayores las plantas se ubicaran más próximas entre sí en la fila. Por este motivo es más dificultoso generar variabilidad debido a que el número de individuos es mayor por metro lineal.

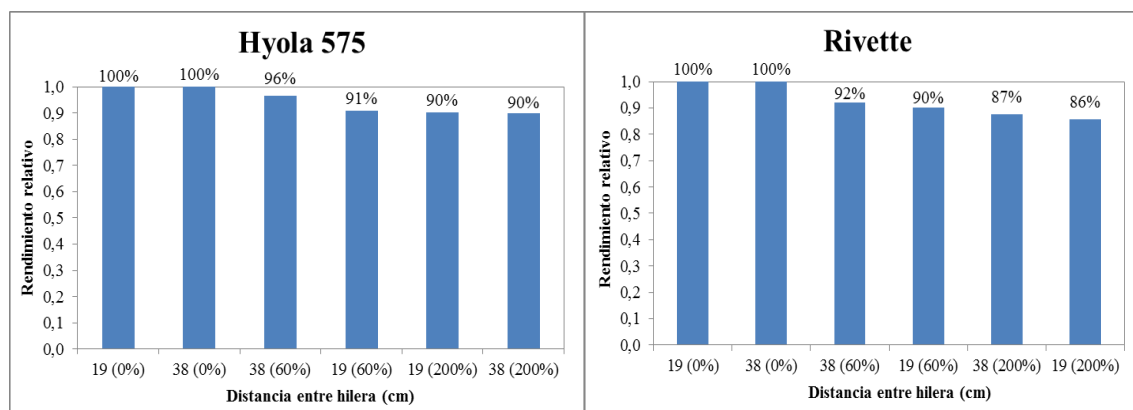


Figura No. 18. Relación entre el rendimiento relativo y distancia entre hilera a diferentes CV en la línea según variedad.

4.3. ENSAYO EN COLONIA VALDENSE

Los distintos niveles de uniformidad generaron diferencias en rendimiento estadísticamente significativas ($P < 0,0437$). El tratamiento con 100% de CV se diferenció de los tratamientos con menores niveles. La diferencia fue del entorno de los 200 kg ha⁻¹ (Figura 19) y está en línea con los reportes de (Griepentrog et al. 2011, Yang et al. 2014).

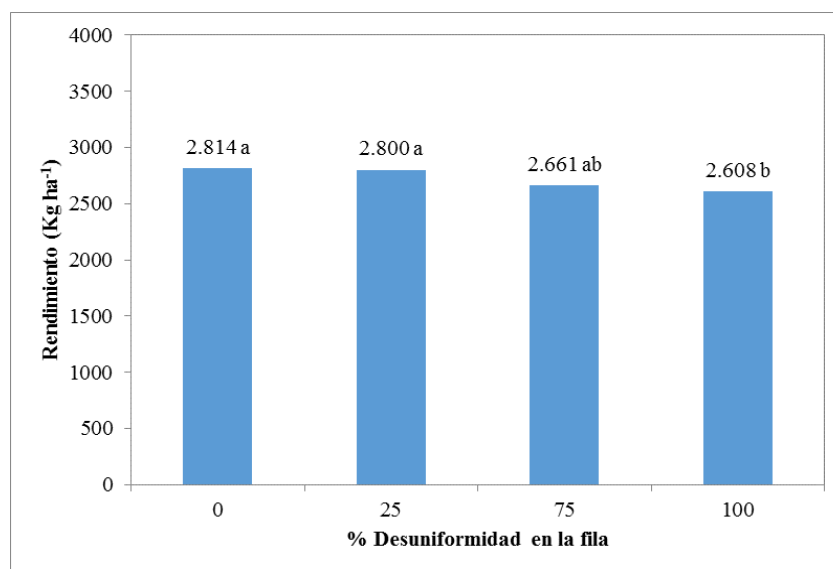


Figura No. 19. Rendimiento en función del porcentaje de uniformidad.

El hecho de que las diferencias en rendimiento no hayan sido más importantes puede deberse a que 100% de CV en la uniformidad resultaron poco perceptibles a simple vista y claramente son niveles menores que los que se pueden ver a campo. Por esta razón, en ensayos futuros se recomienda generar mayores niveles de coeficientes de variación (250-500 %) para lograr efectos más notorios y más parecidos a los problemas observados a campo.

Los distintos tratamientos de uniformidad generaron diferencias en producción de biomasa que sugieren una tendencia estadística ($P < 0,0732$) que explica en parte las diferencias en rendimiento ($R^2 = 0,81$). En este sentido, el tratamiento con 100% de variabilidad en las distancias dentro de la fila generó menor acumulación de materia seca, no encontrándose diferencias significativas entre los demás tratamientos.

Teniendo en cuenta que el índice de cosecha no presenta correlación con el rendimiento al igual que las variables numéricas (número de granos y peso de mil granos) y que no existe efecto de los tratamientos sobre dichas variables se deduce que cuanto mayor producción de biomasa se logran mayores rendimientos.

4.3.1. Determinantes de rendimiento

4.3.1.1. Componentes numéricos de rendimiento

En referencia al ensayo llevado a cabo en la localidad de Colonia Valdense los resultados fueron similares y en concordancia con aquellos obtenidos en la EEMAC,

Paysandú. La variable número de granos por planta es la que en mayor medida explica el rendimiento por planta, logrando un coeficiente de determinación de 80%. Resultados que muestran misma tendencia que la bibliografía (Aguirre y Uriarte 2010, Coll 2010).

Por otra parte, la variable peso de mil granos no tiene correlación con el rendimiento por área ($P > 0,0001$). Concuerdan los resultados con muchos de los autores ya citados (Diepenbrock 2000, Agosti 2011, Coll 2011).

La correlación entre las variables rendimiento y número de granos por metro cuadrado es inferior a la obtenida por planta ($R^2 = 0,1361$) (Figura 20). Esto no concuerda con la bibliografía citada anteriormente (Coll, 2011), sin embargo, debido a que el ensayo presenta pocas muestras y que la diferencia en rendimiento sea pequeña, las variaciones en rendimiento pueden estar explicadas por otras variables.

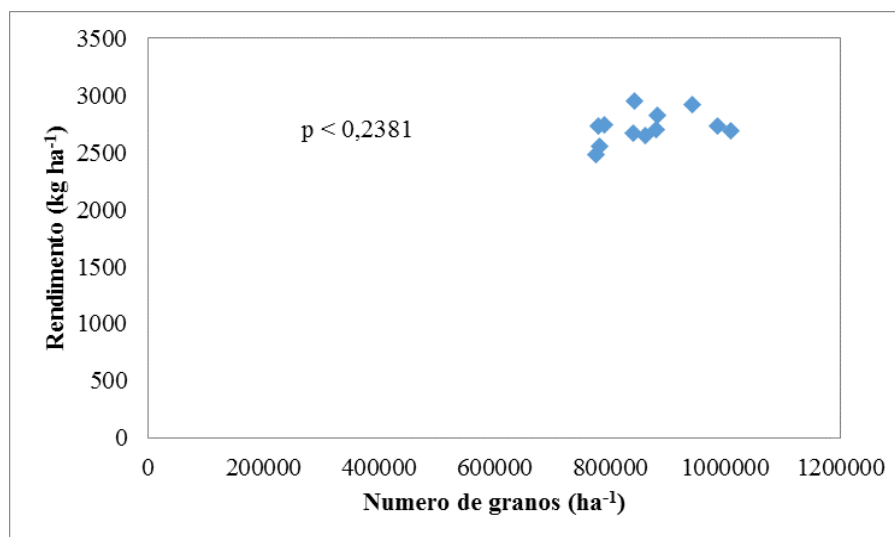


Figura No. 20. Rendimiento en función de número de granos por área.

Lo que explica el bajo coeficiente de determinación entre el rendimiento y número de granos por superficie (Figura 20) al igual que en la regresión de rendimiento en función del peso de mil granos fue que existió una alta correlación ($P < 0,0005$) entre el número de granos y el peso de mil granos (Figura 21). A medida que aumenta el número de granos por superficie, disminuye el peso de mil granos ($R^2 = 0,69$), lo que implica que dicho aumento en el número de granos no se traduzca en un mayor rendimiento. No existe efecto de los tratamientos (0, 25, 75 y 100 % de desuniformidad) para ambas variables correlacionadas.

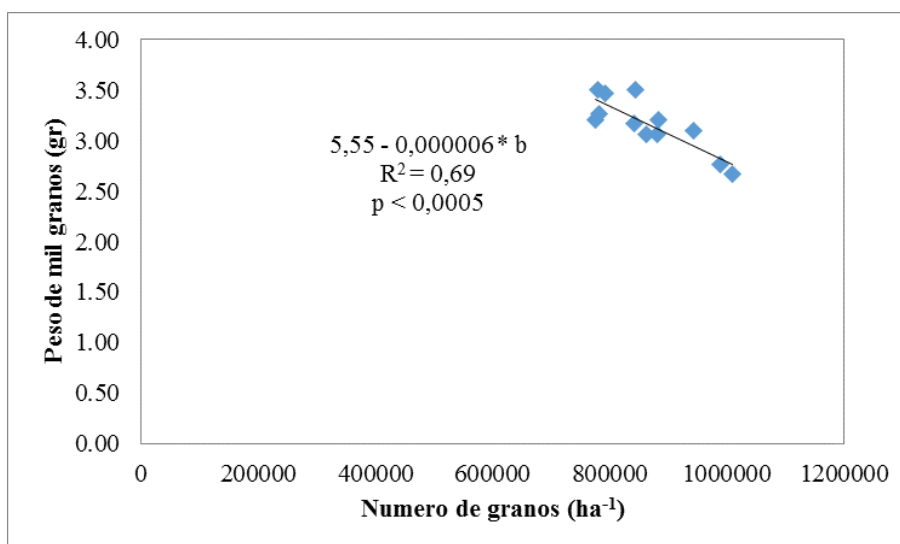


Figura No. 21. Peso de mil granos en función del número de granos por superficie.

4.3.1.2. Componentes no numéricos de rendimiento

La biomasa total acumulada aparece como una de las variables más importantes que explican la variación en rendimiento ($R^2=0,81$). Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de 100% con el de 0 y 25%, siendo estos últimos los que produjeron más biomasa y que por lo tanto resultaron en mayores rendimientos. Estos resultados concuerdan con múltiples autores citados previamente (Hertel y Edwards 2011, Quintana 2013).

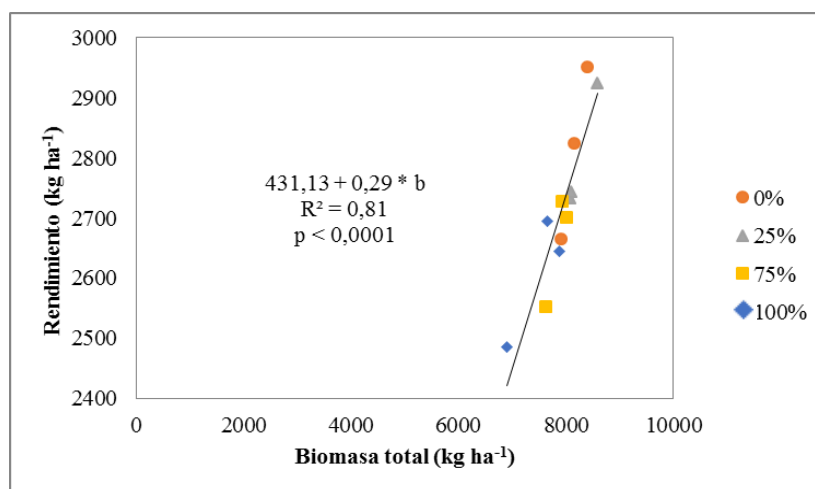


Figura No. 22. Rendimiento en función de biomasa según tratamiento.

En otro sentido, tal como sugiere la bibliografía citada (Aguirre y Uriarte 2010, Agosti 2011, Hertel y Edwards 2011), el índice de cosecha se mantiene en un rango estrecho independientemente de los ambientes y los tratamientos aplicados, no existiendo correlación entre dicha variable y rendimiento.

5. CONCLUSIONES

En concordancia con la bibliografía los componentes que mayormente explicaron las variaciones en el rendimiento fueron: número de granos por planta y biomasa acumulada, explicando entre un 88 y 99% según material y localidad.

En la medida que el área disponible fue mayor el rendimiento individual por planta creció en forma lineal. Dicho comportamiento fue diferencial para los materiales en cuestión, lo que llevó a elaborar dos modelos distintos para la estimación del rendimiento potencial en función del área por planta. Estos únicamente consideran la variable área disponible por planta obviando otros factores sugeridos por la bibliografía que podrían estar influyendo en el rendimiento. De todos modos, el ajuste de los modelos fue razonable, lográndose valores de R^2 mayores para el híbrido Hyola 575 (60%) en comparación a la variedad Rivette (37%).

Los modelos mostraron que los mayores rendimientos se obtienen con arreglos espaciales uniformes. En tal sentido para la localidad de Paysandú el efecto de lograr una población distribuida heterogéneamente (CV=200%) significó para ambas variedades entre 10 y 15% por debajo de la situación óptima correspondiente a una población homogénea (CV=0%). Por motivos inherentes al modelo, no se pudo determinar cuál es la distancia entre hileras que logra el mayor rendimiento. Sin embargo, se concluyó que frente a poblaciones con distribuciones heterogéneas, el impacto de la distribución de plantas es mayor a distancias entre hileras menores.

Los experimentos llevados a cabo en la localidad de Colonia Valdense refuerzan dichos resultados. Los mismos arrojan una merma de 7,33% en el rendimiento para condiciones de poblaciones heterogéneas (CV=100%) en relación a poblaciones distribuidas uniformemente. A pesar de esto, no se encontraron diferencias significativas en rendimiento para poblaciones con coeficientes de variación de 0, 25 y 75%.

Lo anteriormente desarrollado, nos permite extraer como principal conclusión del trabajo la importancia de lograr distribuciones de individuos homogéneas; y que de no lograrlas las mermas en rendimiento podrían situarse entorno al 7 y 15%.

6. RESUMEN

El presente trabajo de tesis, llevado a cabo en la zafra de invierno del 2014, tuvo como principal objetivo cuantificar el impacto de los cambios en la uniformidad de la distribución de plantas en la línea sobre el rendimiento final del cultivo de Colza-Canola. Para ello se sembraron dos ensayos paralelos, uno en EEMAC y otro en la localidad de Colonia Valdense, con distintas metodologías de evaluación, que pretendían explicar la relación entre la uniformidad de distribución y el rendimiento en grano. El primero consistió en un muestreo aleatorizado de los individuos, mientras que el segundo en un raleo manual para la generación de distintos niveles de uniformidad. En lo que refiere al experimento llevado a cabo en Paysandú, se muestrearon 72 plantas correspondientes a dos variedades (Hyola 575 y Rivette), registrándose a cosecha el valor de sus componentes numéricos y no numéricos de rendimiento. A su vez, se determinó, a partir de la creación de los polígonos de Thiessen, el área individual por planta, permitiendo así crear dos modelos (uno para cada variedad) que permitieran relacionar dicha variable con el rendimiento. Con la utilización de dichos modelos y la creación de distintos patrones de distribución (0, 60 y 200% de CV), se pudo cuantificar el impacto sobre el rendimiento de poblaciones con distintos arreglos espaciales. Por otra parte, en Colonia Valdense, los patrones de distribución se generaron manualmente a través del raleo de individuos. Se lograron cuatro niveles de uniformidad (0, 25, 75 y 100% de CV) cuantificándose el rendimiento y sus distintos componentes. En términos generales, los resultados fueron coincidentes para ambos ensayos. Se observó un aumento del rendimiento con el incremento de la homogeneidad en la distribución espacial de los individuos. Para el ensayo en Paysandú se concluyó que Rivette sufre mayores mermas en rendimiento relativo en la medida que el cultivo presenta arreglos espaciales menos uniformes comparado a Hyola 575. En lo que respecta al distanciamiento entre filas en situaciones de cultivos con arreglo de menor uniformidad el rendimiento relativo disminuye en mayor magnitud cuando se acorta la distancia entre hileras. En cuanto al ensayo realizado en C. Valdense los resultados sugieren que los rendimientos no son estadísticamente diferentes cuando las poblaciones presentan CV entre 0 y 75 %. Sin embargo para la situación de menor uniformidad (CV=100 %) las mermas en rendimiento relativo fueron en torno al 7,3 %.

Palabras clave: Canola; Rendimiento; Uniformidad; Arreglo espacial; Patrón de distribución.

7. SUMMARY

The trials, conducted during 2014 winter harvest, had as main objective to quantify the impact that changes in the uniformity of plants in the row might have on the crop yield of Winter Rapeseed- Canola. With this purpose, two parallel trials were installed: one in EEMAC, Paysandu and another one sown in Colonia Valdense, with different assessment methodologies in order to explain the relationship between the uniformity of distribution and grain yield. The first one consisted of a randomized sample of individual plants while the second one corresponded to a manual thinning, used to generate different levels of uniformity. Regarding the experiment conducted in Paysandu, 72 plants from two different varieties (Hyola 575 and Rivette) were selected and their non-numerical and numerical yield components were quantified. In addition to this, through the creation of Thiessen polygons, the area occupied by each plant was calculated in order to determine two different models (one for each variety) that would relate this variable with the grain yield per plant. With the use of these two models and creating different distribution patterns (0, 60 and 200% CV) it was possible to quantify the impact of these patterns on the crop's performance. On the other side, in Colonia Valdense the distribution patterns were generated by manual thinning. Four different levels of uniformity were achieved (0, 25, 75 and 100% CV) and for each level the yield and its components were quantified. Overall, the results achieved in both tests were similar; Increments of spatial uniformity caused an improvement in grain yield. With regards to Paysandu's trial, it was concluded that Rivette was more sensible to changes of uniformity, reducing its performance in a bigger proportion compared with Hyola 575 when CV rises. In reference to row spacing, it was concluded that distributions with high CV tend to achieve worse performances at narrower distances. Furthermore, the test conducted in Colonia Valdense suggests that yield performance does not show any statistical difference when populations have a CV between 0 and 75%. However, for the highest CV (100%) the loss in crop yield was around 7.3%.

Key word: Canola; Rapeseed; Uniformity; Plant arrangement; Distribution pattern.

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. Facultad de Agronomía. 130 p.
2. Aguirre, M.; Uriarte, I. 2010. Respuesta del cultivo de colza-canola (*Brassica napus*) a las condiciones fisicoquímicas del suelo a nivel de chara. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 49 p.
3. 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
4. Awishalem, N. 2013. Response of growth, yield and oil rapeseed to sowing methods and seeding rate. (en línea). IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. 3: 01-06. Consultado 24 set. 2014.
Disponible en
<http://www.iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol3-issue1/A0310106.pdf>
5. Bienzobas, H. 2007. Colza, una nueva alternativa. In: Congreso AAPRESID (15^{a.}, 2007, Rosario). Trabajos publicados. Buenos Aires, SURSEM. pp. 303-307.
6. Bragachini, M.; Méndez, A.; Scaramuzza, F.; Vélez, J.; Villarroel, D. 2012. Impacto de la velocidad y la profundidad de siembra sobre la uniformidad en la emergencia y distribución de plantas en maíz. (en línea). Córdoba, INTA. 8 p. Consultado 11 set. 2014.
Disponible en
http://inta.gob.ar/documentos/impacto-de-la-velocidad-y-la-profundidad-de-siembra-sobre-uniformidad-en-la-emergencia-y-distribucion-de-plantas-en-maiz/at_multi_download/file/INTA-Impacto%20velocidad%20y%20profundidad%20de%20siembra%20en%20maiz%CC%81z.pdf
7. Cencig, G.; Villar, J. 2012. Colza, dos claves para su manejo. (en línea). Rafaela, INTA. 8 p. Consultado 12 set. 2014.
Disponible en
http://inta.gob.ar/documentos/colza-dos-claves-para-su-manejo/at_multi_download/file/Colza_dos_claves_para_su_manejo.pdf
8. Coll, L. 2010. Efecto de la densidad de plantas en el rendimiento de colza. (en línea). INTA. Actualización Técnica. Cultivos de invierno. 1: 39-43. Consultado 23 set.

2014.

Disponible en

http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-la-densidad-de-plantas-en-el-rendimiento-de-colza/at_multi_download/file/INTA-Efecto-de-la-densidad-de-plantas-en-el-rendimiento-de-colza.pdf

9. _____. 2011. Ciclo, densidad y fecha de siembra de colza en relación con el rendimiento. In: Jornada Regional de Cultivos de Invierno (2011, Paraná). Trabajos publicados. Paraná, INTA. s.p.
10. Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oil seed rape (*Brassica napus L.*); a review. *Field Crops Research*. 67: 35-49
11. Etamendi, M.; Daliri, M.; Mousavi, A. 2013. The effect of seeding rate on yield and yield component of canola three varieties in Iran North. *Advances in Environmental Biology*. 7(1): 198-200.
12. 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.
13. _____.; Nielsen, J.; Olsen, J.; Weiner, J. 2011. Simulating the influence of crop spatial pattern on canola yield. (en línea). In: European Conference on Precision Agriculture (8th., 2011, Czech Republic). Proceedings. Prague, s.e. pp. 180-190. Consultado 11 set. 2014.
Disponible en
http://www.jacobweiner.dk/site/Publications_files/Griepentrog_et_al_2011.pdf
14. Hertel, K.; Edwards, J. 2011. Canola growth and development. (en línea). Cowra, s.e. 96 p. Consultado 12 set. 2014.
Disponible en
http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0004/516181/Procrop-canola-growth-and-development.pdf
15. Huhn, M.1999. 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.
16. _____. 2000a. Non-regular spatial patterns of plants and their effect on several agronomic traits per area. *European Journal of Agronomy*. 12: 1-12.
17. _____. 2000b. Notes 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.

18. _____. 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.
19. _____. 2003. Estimating yield depression caused by nonuniformity of spatial plant patterns. *Crop Science*. 43: 421-425.
20. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2014. Programa de información climática GRAS. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 29 ago. 2014.
Disponible en
<http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/unidades/GRAS/clima>
21. Iriarte, L.; Valetti, O. 2002. El cultivo de colza en Argentina. (en línea). *Revista IDIA*. XXI. no. 3: 160-166. Consultado 10 set. 2014.
Disponible en
<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210314.pdf>
22. _____. 2009. Producción de colza, experiencia en Mendoza. (en línea). In: *Jornada Chacra Experimental Integrada Barrow (2009, Tres Arroyos, Buenos Aires, AR)*. Presentaciones. s.n.t. s.p. Consultado 8 oct. 2014.
Disponible en
<http://www.imd.uncu.edu.ar/upload:21-Iriarte.pdf>
23. _____. 2014. Cultivo de colza; fecha de siembra, densidad y distancia entre surcos. (en línea). Buenos Aires, INTA. 6 p. Consultado 22 set. 2014.
Disponible en
[http://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-colza-fecha-de-siembra-densidad-y-distancia-entre-surcos/at_multi_download/file/INTA Barrow - Cultivo de Colza, fecha de siembra, densidad y distancia entre surcos.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/cultivo-de-colza-fecha-de-siembra-densidad-y-distancia-entre-surcos/at_multi_download/file/INTA%20Barrow%20-%20Cultivo%20de%20Colza,%20fecha%20de%20siembra,%20densidad%20y%20distancia%20entre%20surcos.pdf)
24. *Jornada Técnica Canola (2014, Paysandú)*. 2014. Resultados productivos canola; zafra 2013. (en línea). Paysandú, ALUR (Alcoholes del Uruguay). 50 p. Consultado 10 set. 2014.
Disponible en
http://www.alur.com.uy/eventos/2014/jornadas-canola/resultado-canola_zafra-2013.pdf
25. Kristensen, L.; Olsen, J.; Weiner, J.; Griepentrog, H.; Norremark, M. 2005. Describing the spatial pattern of crop plants with special reference to crop-weed competition studies. *Field Crops Research*. 96: 207-215.
26. Martino, D.L.; Ponce de León, F. 1999. CANOLA; una alternativa promisoriosa.

Montevideo, INIA. 98 p. (Serie Técnica no. 105).

27. 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 22 set. 2014.
Disponibile en
<http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n11/v46n11a05.pdf>
28. 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 7 oct. 2014.
Disponibile en
<http://www.aensiweb.com/old/aeb/2012/1000-1005.pdf>
29. 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 6 oct. 2014.
Disponibile en
<http://agriculturejournals.cz/publicFiles/52889.pdf>
30. Panning, J.; Kocher, M.; Smith, J.; Kachman, S. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. (en línea). Applied Engineering in Agriculture. 16 (1): 7-13. Consultado 7 oct. 2014.
Disponibile en
<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1151&context=biosysengfacpub>
31. Perry, J. N.; Liebhold, A. M.; Rosenberg, M. S.; Dungan, J.; Miriti, M.; Jakomulska, A.; Citron-Pousty, S. 2002. Illustrations and guide-lines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. (en línea). Ecography. 25: 578–600. Consultado 7 oct. 2014.
Disponibile en
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0587.2002.250507.x/epdf>
32. Pozzolo, O.; Ferrari, H.; Curró, C. 2008. Colza canola implantación. (en línea). Concepción del Uruguay, s.e. s.p. Consultado 12 set. 2014.
Disponibile en
<http://www.agritotal.com/0/vnc/nota.vnc?id=1535>
33. Quintana, M.; Estrada, G.; Martínez, C.; Morales, E.; Domínguez, A. 2013. Variabilidad genotípica en atributos ecofisiológicos del rendimiento y calidad industrial de canola. Terra Latinoamericana. 31(1): 47-56.

34. Rahnama, A.; Habibi, J. 2014. Evaluation and determination of optimum method and rate of seeding of canola seeds (case study: Khouzestan, South Iran). (en línea). International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS). 7 (5): 245-250. Consultado 26 set. 2014.
Disponible en
<http://ijagcs.com/wp-content/uploads/2014/04/245-250.pdf>
35. 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.
36. Shahin, Y.; Valiollah, R. 2009. Effects of row spacing and seeding rates on some agronomical traits of spring Canola (*Brassica napus L.*) cultivars. Journal of Central European Agriculture. 10(1): 115-122.
37. Taillieu, R. 2007. Seeding speed—How fast is too fast? (en línea). Alberta, CA, Alberta Reduced Tillage. s.p. Consultado 2 jun. 2015.
Disponible en
<http://reducedtillage.ca/article315.aspx>
38. Tamagno, L.; Chamorro, A.; Sarandón, S. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus L.* spp oleifera forma annua): efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. (en línea). Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 104 (1): 25-34. Consultado 8 oct. 2014.
Disponible en
http://www2.agro.unlp.edu.ar/uploads/R/ag104_34.pdf
39. Tesouro, M.; Casartelli, M.; D'ámico, 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 11 set. 2014.
Disponible en
http://inta.gob.ar/documentos/desuniformidad-de-distribucion-de-girasol-helianthus-annuus-l.-impacto-sobre-la-produccion-individual-y-el-rendimiento-del-cultivo/at_multi_download/file/desuniformidad.pdf
40. USDA (United States Department of Agriculture, US). 2015. Oilseeds; world markets and trade. (en línea). Washington, D. C. 41 p. Consultado 8 abr. 2015.
Disponible en
<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>
41. Uzun, B.; Yol, E.; Furat, S. 2012. The influence of row and intra-row spacing to seed yield and its components of winter sowing canola in the true mediterranean type

- environment. (en línea). Bulgarian Journal of Agricultural Science. 18 (1): 83-91. Consultado 6 oct. 2014.
Disponible en
<http://www.agrojournal.org/18/01-11-12.pdf>
42. Van Deynze, A. 1992. Effect of varying seeding rates on hybrid and conventional summer rape performance in Manitoba. (en línea). Canadian Journal of Plant Science. 72 (3): 635-641. Consultado 23 set. 2014.
Disponible en
<http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/cjps92-079>.
43. 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: 793-801. Consultado 23 set. 2014.
Disponible en
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-014-0218-5>
44. Zhang, S.; Liao, X.; Zhang, C.; Xu, H. 2012. Influences of plant density on the seed yield and oil content of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). (en línea). Industrial Crops and Products. 40: 27-32. Consultado 23 set. 2014.
Disponible en
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669012000957>