



**INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA
URUGUAY**



**AJUSTES EN EL MANEJO
DE COLZA-CANOLA PARA
MEJORAR Y ESTABILIZAR
EL RENDIMIENTO: UN
ESTUDIO BASADO EN LA
ECOFISIOLOGÍA DEL
CULTIVO**

Junio, 2021

**SERIE
FPTA-INIA**

93

AJUSTES EN EL MANEJO DE COLZA- CANOLA PARA MEJORAR Y ESTABILIZAR EL RENDIMIENTO: UN ESTUDIO BASADO EN LA ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO

PROYECTO FPTA-287.

Responsable del proyecto: Sebastián R. Mazzilli, Ing. Agr. (Dr.)*

Institución ejecutora: Universidad de la República, Facultad de Agronomía

Equipo de trabajo: Oswaldo R. Ernst, Ing. Agr.*

Andrés Locatelli, Ing. Agr.*

Dario Fros, Téc. Agrop.*

Título: AJUSTES EN EL MANEJO DE COLZA-CANOLA PARA MEJORAR Y ESTABILIZAR EL RENDIMIENTO: UN ESTUDIO BASADO EN LA ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO

Responsable del proyecto: Sebastián R. Mazzilli, Ing. Agr. (Dr.)

Institución ejecutora: Universidad de la República, Facultad de Agronomía

Equipo de trabajo: Oswaldo R. Ernst, Andrés Locatelli, Dario Fros

e-ISBN: 978-9974-38-456-9

Serie: FPTA N° 93

© 2021, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Avda. Italia 6201, Edificio Los Guayabos, Parque Tecnológico del LATU,
Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr. José Bónica - Presidente

Ing. Agr. Walter Baethgen - Vicepresidente



**Ministerio
de Ganadería,
Agricultura y Pesca**

Ing. Agr. Rafael Secco

Ing. Agr. Martín Gortari



Ing. Agr. Alberto Bozzo

Ing. Agr. Alejandro Henry



FONDO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) fue instituido por el artículo 18° de la ley 16.065 (ley de creación del INIA), con el destino de financiar proyectos especiales de investigación tecnológica relativos al sector agropecuario del Uruguay, no previstos en los planes del Instituto.

El FPTA se integra con la afectación preceptiva del 10% de los recursos del INIA provenientes del financiamiento básico (adicional del 40/00 del Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios y contrapartida del Estado), con aportes voluntarios que efectúen los productores u otras instituciones, y con los fondos provenientes de financiamiento externo con tal fin.

EL FPTA es un instrumento para financiar la ejecución de proyectos de investigación en forma conjunta entre INIA y otras organizaciones nacionales o internacionales, y una herramienta para coordinar las políticas tecnológicas nacionales para el agro.

Los proyectos a ser financiados por el FPTA pueden surgir de propuestas presentadas por:

a) los productores agropecuarios, beneficiarios finales de la investigación, o por sus instituciones.

b) por instituciones nacionales o internacionales ejecutoras de la investigación, de acuerdo a temas definidos por sí o en acuerdo con INIA.

c) por consultoras privadas, organizaciones no gubernamentales o cualquier otro organismo con capacidad para ejecutar la investigación propuesta.

En todos los casos, la Junta Directiva del INIA decide la aplicación de recursos del FPTA para financiar proyectos, de acuerdo a su potencial contribución al desarrollo del sector agropecuario nacional y del acervo científico y tecnológico relativo a la investigación agropecuaria.

El INIA a través de su Junta Directiva y de sus técnicos especializados en las diferentes áreas de investigación, asesora y facilita la presentación de proyectos a los potenciales interesados. Las políticas y procedimientos para la presentación de proyectos son fijados periódicamente y hechos públicos a través de una amplia gama de medios de comunicación.

El FPTA es un instrumento para profundizar las vinculaciones tecnológicas con instituciones públicas y privadas, a los efectos de llevar a cabo proyectos conjuntos. De esta manera, se busca potenciar el uso de capacidades técnicas y de infraestructura instalada, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de los recursos nacionales para resolver problemas tecnológicos del sector agropecuario.

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria contribuye de esta manera a la consolidación de un sistema integrado de investigación agropecuaria para el Uruguay.

A través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA), INIA ha financiado numerosos proyectos de investigación agropecuaria a distintas instituciones nacionales e internacionales. Muchos de estos proyectos han producido resultados que se integran a las recomendaciones tecnológicas que realiza la institución por sus medios habituales.

En esta serie de publicaciones, se han seleccionado los proyectos cuyos resultados se considera contribuyen al desarrollo del sector agropecuario nacional. Su relevancia, el potencial impacto de sus conclusiones y recomendaciones, y su aporte al conocimiento científico y tecnológico nacional e internacional, hacen necesaria la amplia difusión de estos resultados, objetivo al cual se pretende contribuir con esta publicación.

CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCIÓN	8
2. RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE COLZA-CANOLA Y TRIGO EN DISTINTOS AMBIENTES DE PRODUCCIÓN Y SU EFECTO SOBRE LOS CULTIVOS DE VERANO SIGUIENTES.	10
2.1) Introducción	10
2.2) Materiales y métodos.	11
2.3) Resultados	13
2.4) Discusión.	17
2.5) Conclusiones.	17
3. RESPUESTA DE COLZA-CANOLA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA.	19
3.1) Introducción	19
3.2) Materiales y métodos.	21
3.3) Resultados y discusión.	23
3.4) Conclusiones	32
4. ARREGLO ESPACIAL EN COLZA-CANOLA.	33
4.1) Introducción	33
4.2) Materiales y métodos	34
4.3) Resultados	35
4.4) Conclusiones	40
5. FECHA DE SIEMBRA EN COLZA CANOLA	41
5.1) Introducción	41
5.2) Materiales y métodos	42
5.3) Resultados	43
5.4) Conclusiones.	47
6. COMENTARIOS FINALES	49
7. BIBLIOGRAFÍA	50
AGRADECIMIENTOS	55
ANEXOS	56

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

	Página
Figura 2.1. Precipitaciones y temperatura media mensual para el período experimental con relación a la media (2002-2013)	13
Figura 2.2. Rendimiento en grano para trigo y colza según año de evaluación y manejo anterior del suelo	14
Figura 2.3. Proporción del rendimiento en grano de colza, respecto a rendimiento de trigo según zafra	15
Figura 2.4. Rendimiento en grano de soja y maíz sembrado luego de colza o trigo. Barras de error representan el error estándar. Valores seguidos por la misma letra dentro de cada cultivo no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)	16
Figura 2.5. Costos totales, producto bruto y margen neto (U\$S ha ⁻¹) según cultivo y antecesor para los cultivos de verano.	16
Figura 3.1. Ubicación de los sitios experimentales.	21
Figura 3.2. Temperatura media mensual del periodo experimental con relación a la media del periodo 2002-2013.	23
Figura 3.3. Precipitaciones mensuales del periodo experimental con relación a la media del periodo 2002-2013.	24
Figura 3.4. Relación entre el número de granos y el rendimiento (arriba) y el rendimiento y peso de grano (abajo).	26
Figura 3.5. Relación entre el rendimiento en grano y la concentración de materia grasa.	27
Figura 3.6. Relación entre el rendimiento en grano y el rendimiento en materia grasa.	27
Figura 3.7. Rendimiento en grano en función del tratamiento aplicado. Valores seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$).	28
Figura 3.8. Relación entre el INN y el INS al estadio de C1.	28
Figura 3.9. Relación entre el N agregado a instalación y el INN a C1.	29
Figura 3.10. Relación entre el S agregado a instalación y el INS a C1.	30
Figura 3.11. a) Distribución de la biomasa acumulada a inicio de elongación (C1), b) Relación entre la biomasa acumulada al estadio de C1 e índice de nutrición nitrogenada.	30
Figura 3.12. a) Relación entre el índice de nutrición nitrogenada a C1 (INN) y el rendimiento relativo en grano según agregado de nitrógeno y azufre a ese estadio (N-S) y b) Relación entre el índice de nutrición nitrogenada a C1 (INN) y el rendimiento relativo en grano para los testigos sin fertilización nitrogenada.	31
Figura 3.13. Rendimiento en grano según INS al estadio de C1 y dosis de N agregado en ese mismo estadio.	31
Figura 3.14. Eficiencia agronómica de uso del nitrógeno en función del nitrógeno total agregado.	32
Figura 4.1. Proporción de implantación según año de evaluación, cultivar y sitio experimental. a) Sitio EEMAC, material Hyola 575 cl durante las zafras 2014 a 2016; b) Sitio G&E, material Hyola 575 cl durante las zafras 2014; c) Sitio EEMAC, material Hyola 833 cc durante las zafras 2014 y 2015; d) Sitio G&E, material Hyola 833 cc durante la zafra 2014.	36
Figura 4.2. Proporción de implantación sitio experimental y cultivar, en función de a) la distancia entre filas y b) la población objetivo. Medias con una letra en común dentro de cada cultivar y sitio experimental no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)	36
Figura 4.3. Relación entre la población objetivo y la población lograda según distancia entre filas y cultivar, a) Hyola 575 cl, b) Hyola 833 cc.	37
Figura 4.4. Relación entre la población a cosecha y el rendimiento relativo según distancia entre filas y material, a) Hyola 575 cl y b) Hyola 833 cc.	38

Figura 4.5. Rendimiento según distancia entre filas separado por zafra, sitio experimental y material. Medias con una letra en común dentro de cada ensayo no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)	39
Figura 4.6. Rendimiento en grano en función del número (a) y peso de granos (b).	39
Figura 4.7. Rendimiento en grano en función del índice de cosecha.	40
Figura 5.1. Rendimiento relativo al año según fecha de siembra y material evaluado.	43
Figura 5.2. Rendimiento relativo al año según década de siembra para los materiales primaverales evaluados en el periodo 2014 a 2016. Barras de error indican el error indican el desvío estándar.	44
Figura 5.3. a) Relación entre el rendimiento en grano y el rendimiento en materia grasa para la totalidad de los materiales y fechas de siembra estudiados. b) Concentración de materia grasa en grano según material y fecha de siembra.	44
Figura 5.4. Rendimiento en grano medio según material, considerando únicamente el periodo de siembra en el que maximizan los rendimientos. Barras de error indican el error estándar. Medias con una letra en común dentro de cada ensayo no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)	45
Figura 5.5. Días desde siembra a floración según cultivar y fecha de siembra para la zafra 2016 en el sitio EEMAC.	46
Figura 5.6. Esquema de riesgo de heladas (Los números indican el número de heladas para el percentil 50) para los materiales primaverales estudiados según fecha de siembra y momento. Verde: Periodo siembra-floración.	47
Figura 5.7. a) Rendimiento relativo en función de la fecha de inicio de floración para materiales primaverales; b) Silicuas por unidad de superficie según fecha de floración para materiales primaverales.	47
Figura 5.8. Rendimiento relativo en función de la temperatura media en el periodo inicio de floración y fin de llenado de grano (F1-G4)	48
Cuadro 2.1. Principales medidas de manejo aplicado a cada uno de los cultivos.	12
Cuadro 3.1. Tratamientos aplicados.	22
Cuadro 3.2. Características de los sitios donde se instalaron los experimentos.	22
Cuadro 3.3. Rendimiento, peso de grano y variabilidad según sitio experimental.	25
Cuadro 4.1. Detalle de los experimentos realizados según zafra, ubicación y material	33
Cuadro 5.1. Detalle de los experimentos realizados según zafra y ubicación.	42

Sebastián R. Mazzilli
Oswaldo R. Ernst

1.

Introducción

Proyecto FPTA 287

Período de Ejecución: Abr 2014 - Jun 2017

Este proyecto surge en el año 2012 a instancias del llamado FPTA en el que se planteó como temática y/o oportunidad el «Ajuste de prácticas de manejo que contribuyan a obtener rendimientos altos y estables en colza consolidando a este cultivo como una alternativa invernal». En ese marco, el proyecto tuvo por objetivos el estudio de los efectos de la fecha de siembra, población lograda y distribución de plantas, fertilización nitrogenada y azufrada sobre el rendimiento del cultivo de colza y su estabilidad. Dado que el conocimiento disponible a nivel nacional del cultivo estaba desactualizado y los trabajos en el cultivo eran escasos, se diseñó una estrategia que permitiera mejorar el entendimiento de la ecofisiología del cultivo, de forma de que el diseño de las mejores prácticas de manejo sea consecuencia del conocimiento acabado de su respuesta a los distintos factores del ambiente y no sólo de los mejores resultados de cada experimento. Esta diferencia es sutil, pero marca la estrategia del proyecto que es entender las bases ecofisiológicas del rendimiento de la colza. Esto permitirá avanzar más rápidamente en el diseño de otras prácticas, así como en el armado de estrategias de investigación dirigidas a los puntos no entendidos. El antecedente de investigación más completo disponible a nivel local hasta ese momento es la Serie Técnica 105 de INIA publicada por Martino y Ponce de León en el año 1999: «Canola: Una alternativa promisoriosa», la cual, si bien abarcaba todos los aspectos del cultivo, los resultados se obtuvieron bajo un sistema de producción totalmente diferente al actual, en el cual el laboreo de suelo y la rotación con pasturas eran prácticas comunes.

El cultivo de Colza-Canola en Uruguay ha pasado por diferentes etapas a lo largo de su historia, pero nunca se ha podido instalar definitivamente en nuestro sistema de producción como consecuencia de problemas productivos y/o comerciales. Una iniciativa importante fue la desarrollada por la Central Cooperativa de Granos en conjunto con la Cooperativa Agropecuaria Limitada de Ombúes de Lavalle a partir del año 1991, logrando que un número pequeño de productores de la zona la produjeran como una opción productiva. Desde entonces y hasta el año 1999 (último año en el cual hay información publicada al respecto) se cultivaban anualmente aproximadamente 300 ha. A partir del año 2004 se generó un nuevo impulso, ya que varias empresas demostraron interés en desarrollar el mercado, una de las principales limitantes al aumento de producción a nivel nacional. Dentro de estos planes se pudieron concretar entorno a las 1400-1500 ha de siembra de unas 6.000 ha planificadas y los rendimientos obtenidos fueron variables (1.100 kg ha^{-1} en promedio). Esto determinó que además del mercado, para que el cultivo pudiera crecer en área debían mejorarse las prácticas agronómicas aplicadas, para las cuales existía información desactualizada y poca difusión entre los productores. A partir del año 2010 ALUR (Alcoholes del Uruguay S.A - ANCAP) comenzó a participar del mercado, ofreciendo contratos para la producción, lo que logró mediante acuerdos 6.700 ha, en la zafra 2012 se sembraron 14.436 ha, llegando a las zafras 2017 y 2018, ya con otros actores comerciales participando del mercado, a una superficie sembrada mayor a las 50.000 ha. No obstante, los rendimientos medios siguen sin supe-

rar los 1.500 kg ha⁻¹ en el periodo. Por lo tanto, si bien se han logrado solucionar los aspectos de mercado, siguen faltando conocimientos ecofisiológicos locales que permitan diseñar estrategias de manejo claves para incrementar el rendimiento y reducir su variabilidad espacial y temporal.

Otro aspecto no menor al inicio de este proyecto es la ausencia de información que permita cuantificar cuánto es el rendimiento de colza en relación al de trigo. Esto es clave para presupuestar el margen económico de esta alternativa en relación con el principal cereal de

invierno en el país y así poder diseñar rotaciones económica y ambientalmente amigables. La diversificación de cultivos es una herramienta eficaz para manejar los riesgos económicos en sistemas de producción agrícola, pero para que la diversificación sea positiva los cultivos sembrados deben ser rentables.

En esta serie técnica se discutirán los resultados obtenidos en el marco de este proyecto de forma de contar con una guía actualizada respecto a la información existente, así como a las principales medidas de manejo recomendadas para el cultivo.

2. Relación entre el rendimiento de colza- canola y trigo en distintos ambientes de producción y su efecto sobre los cultivos de verano siguientes

2.1) INTRODUCCIÓN

El cultivo de colza (*Brassica napus* L.) que contiene menos de 2% de ácido erúxico y 30 $\mu\text{m g}^{-1}$ de glucosinolatos, normalmente conocido como canola, es cultivado por el aceite de su grano. Este aceite es el tercero más consumido después del aceite de soja y palma, así como la tercera harina más consumida luego soja y algodón (Oil World, 2018). En países de Sudamérica como Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, con tradición agrícola, el área de colza no ha sido relevante hasta hace 10-15 años (FAOSTAT, 2016), cuando la demanda mundial del cultivo aumentó, consecuencia del aumento en el uso de biocombustibles (Oil World, 2018).

En la mayor parte del mundo el cultivo de colza compite por área de siembra con cereales de invierno como el trigo y la cebada (Rondanini et al., 2012). Sin embargo, la inclusión colza intercalado entre dos cultivos de gramíneas invernales es una opción ventajosa para la rotación. La depresión del rendimiento del trigo sembrado sobre rastrojo de trigo y/o cebada de la zafra anterior se explica parcialmente por el aumento de las enfermedades foliares, especialmente en sistemas de no laboreo (Carignano et al., 2008; Mazzilli et al., 2016). Contrariamente, las rotaciones de cultivos pueden dismi-

nuir este efecto y por tanto disminuir las pérdidas de rendimiento, los costos de producción o ambos (Angus et al., 2015; Bailey et al., 2001; Kutcher et al., 2013). No obstante, el rendimiento del cultivo tiene que ser competitivo con relación a estos cereales, de manera de ingresar adecuadamente en los sistemas de producción.

En un análisis global realizado por Rondanini et al. (2012) sugieren que, si bien la relación entre rendimiento de colza y trigo puede converger en un 50%, una de las principales causas de la variación puede estar explicada por cambios en la concentración de aceite en el grano de colza y, por tanto, en el contenido energético de ese rendimiento. Cuando analizan la relación de rendimientos colza/trigo para países particulares encuentran una gran variabilidad en el indicador, especialmente cuando los rendimientos del cultivo de trigo son menores a los 2000 kg ha^{-1} y una tendencia a que el cociente entre el rendimiento de trigo y colza sea menor en rendimientos de trigo mayores a los 4000 kg ha^{-1} . Según esta información, parece poco probable obtener un rendimiento de colza inferior al 40% del rendimiento de trigo y en ambientes limitantes para el trigo (ej.: enfermedades de espiga), el rendimiento de colza puede alcanzar al 90-100% del rendimiento de trigo.

Se han cuantificado efectos negativos de la inclusión de canola en la rotación sobre los cultivos siguientes, los cuales se explican por posibles efectos alelopáticos del cultivo o una menor colonización de micorrizas, afectando principalmente a los cultivos de gramíneas siguientes (Koide y Peoples, 2012; Owen et al., 2010). En contraparte, las ventajas del cultivo estarían asociadas a su capacidad «biofumigante», la cual está determinada por la degradación enzimática de los glucosinolatos producidos por las raíces (Kirkegaard y Sarwar, 1999) y que se asocia a disminución de patógenos en el suelo entre los que se incluyen hongos, bacterias y nematodos (Kirkegaard et al., 2000; Matthiessen y Kirkegaard, 2006; Owen et al., 2010). Por último, la colza podría generar un impacto positivo en el suelo, reduciendo la resistencia a la penetración (Chan y Heenan, 1996); mejorando la disponibilidad de nutrientes para el próximo cultivo (Sarker et al., 2018); pero dado que su tasa de descomposición de rastrojo es intermedia entre trigo y residuos de leguminosas, deja una menor cobertura de residuos en relación a un cultivo de trigo. Este conjunto de efectos residuales directos se confunde con el efecto benéfico esperado por su menor ciclo a cosecha que trigo, ofreciendo la posibilidad de realizar la siembra más temprana de un cultivo de verano sobre una cantidad de rastrojo menor y de más rápida descomposición (Andrade et al., 2015; Caviglia et al., 2004).

Otro problema que enfrentan los sistemas de producción es el aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos (Wollenweber et al., 2003). En la región implica aumento de probabilidad de condiciones de anegamiento durante el invierno (De San Celedonio et al., 2014). Para esta situación, si bien hay pocos trabajos que comparen los cultivos en la misma situación, los resultados experimentales muestran que el cultivo de trigo presenta menores pérdidas de rendimientos con relación al cultivo de colza (Ashraf y Mehmood, 1990; de San Celedonio et al., 2018; De San Celedonio et al., 2014; Wollmer et al., 2018; Xu et al., 2015). En condiciones de producción las pérdidas asociadas al anegamiento van a depender de las condiciones climáticas, la elección del cultivo (trigo o colza) (Ploschuk et al., 2018), el cultivar (Cheng et al., 2010; Setter y Waters, 2003;

Zhang et al., 2007), estadio fenológico del mismo al momento de ocurrencia del evento (De San Celedonio et al., 2014; Marti et al., 2015) y a la capacidad del suelo de drenar los excesos de agua y mantener los niveles de oxígeno en valores aceptables, lo cual está dado por las características propias del suelo y su estado de conservación.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) cuantificar la relación entre el rendimiento de trigo y colza bajos distintos sistemas de cultivos, 2) el diferencial de rendimiento de los cultivos de verano siguiente a trigo y colza a igualdad de fecha de cosecha del cultivo de invierno y siembra del de verano, 3) y realizar una valoración económica de los sistemas de cultivo evaluados. Para poder cumplir con estos objetivos, se sembraron cultivos de colza y trigo en un ensayo de rotación de cultivos en el que se evaluaban distintas secuencias de cultivos y que llevaba funcionando 21 años, lo que había determinado distintos niveles de conservación de la calidad del suelo. En estos experimentos se evaluó el rendimiento de los cultivos de invierno (trigo y colza) y el de los cultivos de verano siguiente (soja y maíz) por dos años.

2.2) MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1- Diseño experimental y evaluaciones de campo

Los experimentos fueron instalados sobre un ensayo de largo plazo iniciado en el año 1993 en la Estación Experimental Dr. M.A Cassinoni en Paysandú-Uruguay (32°23'8.12"S/58°3'47.61"O). Durante 21 años se evaluaron los siguientes tratamientos en un diseño de bloques completos al azar: 1) Agricultura continua en siembra directa con alta proporción de cultivos de verano C4 (CC-NTC4), 2) Rotación Agricultura-Pasturas con laboreo convencional (ROT-CT), 3) Agricultura continua en siembra directa con soja en verano y barbecho invernal (CC-NTF), 4) Rotación Agricultura-Pasturas sin laboreo (ROT-NT) y 5) Agricultura continua en siembra directa con alta proporción de cultivos de verano C3 (CC-NTC3). Cada una de estas parcelas mayores representan distintos niveles de conservación de suelo. Los detalles del

Cuadro 2.1. Principales medidas de manejo aplicado a cada uno de los cultivos.

Actividades	Colza		Trigo		Soja	Maíz
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Fecha siembra	15-06-14	06-07-15	15-06-14	06-07-15	27-11-14	7-12-2015
Cultivar	Rivette		Fuste		A5019	DOW 510 PW
Distancia entre filas (m)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,52	0,52
P ₂ O ₅ aplicado (kg ha ⁻¹)	60	60	60	60	0	0
Nitrógeno total aplicado (kg ha ⁻¹)	103	115	103	115	0	40
Fecha de cosecha	20-11-14	25-11-15	24-11-14	29-11-15	10-05-15	21-04-2016

experimento pueden encontrarse en Ernst et al. (2020).

A partir del invierno 2014 cada bloque fue dividido en dos y sembrado la mitad con colza y la mitad con trigo y luego de la cosecha, durante esa misma estación de crecimiento fue sembrado con soja. Por su parte, durante la zafra siguiente, las parcelas que tuvieron colza fueron sembrada con trigo y viceversa, y durante el verano el ensayo fue sembrado en su totalidad con maíz. En el cuadro 2.1 se presentan los principales detalles de manejo de cada uno de los cultivos. La fecha de siembra y materiales de trigo y colza fueron seleccionados de tal manera que la fecha de cosecha fuera lo más parecida posible, de forma que el cultivo de verano siguiente se sembrara inmediatamente luego de la cosecha de los cultivos de invierno en cada año, pero en la misma fecha. Todos los cultivos fueron manejados de forma tal que las plagas, malezas y enfermedades no afectarían los rendimientos de los cultivos.

Al momento de madurez de cosecha de cada cultivo, se cortaron un total de 4 m lineales de cada parcela para estimar el rendimiento. Cada muestra fue trillada y con el peso del grano y humedad se ajustó el rendimiento a la humedad comercial de cada cultivo (8% para colza y 14% para el resto de los cultivos). Para el caso de colza, fue evaluado el % de materia grasa (%MG) utilizando el método Soxhlet, expresando los resultados en base seca.

2.2.2- Evaluación económica de las secuencias evaluadas

El costo exacto de cada uno de los cultivos fue estimado utilizando el registro de las prácticas de manejo aplicadas a cada cultivo (Cuadro 2.1 y Anexos 1 al 4). A cada agroquímico y/o fertilizante utilizado, así como a cada grano producido se le asignó un precio por zafra. Para las labores (fertilización, siembra, etc.), fue utilizado un precio, asumiendo que en todos los casos se contrataron los servicios de maquinaria. Los precios fueron obtenidos de las publicaciones por zafra que realiza la Cámara Uruguaya de Servicios Agropecuarios (CUSA) (<http://cusa.org.uy>). En los casos que el precio de la labor estuviera asociada al precio del Gas Óil, este se obtuvo de los registros que publica ANCAP (Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Portland) (<https://www.ancap.com.uy>).

Para los precios de los agroquímicos, en la medida que no existen reportes oficiales al respecto ni organizaciones que publiquen esta información, fue utilizada una base de datos brindada por la cooperativa COPAGRAN (Cooperativa agraria nacional). Para el precio de los granos producidos se utilizó la publicación de la Cámara Mercantil de Productos del País (<http://www.camaramercantil.com.uy/>), siendo el valor para los granos de verano el promedio de los meses de marzo/abril/mayo/junio, para trigo los meses de noviembre/diciembre/enero y para colza los precios referencia del mayor comprador local de colza, la empresa Alcoholes del Uruguay (ALUR). El precio de colza se ajustó en función del contenido de materia grasa, toman-

do como base 42% de materia grasa, bonificando 1% el precio por cada punto por encima de ese valor o disminuyendo el precio en la misma proporción.

Para estimar el costo de transporte del grano producido, se asumió que trigo, soja y maíz se entregaron con destino a exportación en el puerto de Nueva Palmira-Uruguay (196 km desde el sitio experimental), y que la producción de colza es para producción local de biodiesel en una planta ubicada en la ciudad de Montevideo (362 km). Para cálculo del margen bruto no se consideraron otros costos de comercialización, ni el costo de arrendamiento de la tierra, ni impuestos, así como tampoco los costos de estructura que enfrentaría una empresa para poder producir (mano de obra, asesoramiento técnico, movilidad, etc.).

2.2.3- Evaluación económica de las secuencias evaluadas

El efecto del manejo anterior del suelo sobre el rendimiento de colza y trigo se analizó por año, (2014 y 2015), utilizando un análisis de varianza con tres bloques completos y cinco

manejos de suelos (5 tratamientos) y se estimó la relación entre el rendimiento de colza y trigo para cada año. Para los cultivos de verano (Soja y Maíz) se realizó un análisis de varianza con parcelas divididas, donde la parcela mayor era el manejo anterior del suelo, y la parcela menor el cultivo antecesor de invierno (Colza o Trigo), además se evaluó la interacción entre estas variables.

2.3) RESULTADOS

2.3.1- Caracterización climática

Las precipitaciones fueron variables entre años. Durante el año 2014 estuvieron un 40% por encima de la media para el sitio y fueron especialmente importantes en las últimas etapas de los cultivos, lo que generó un ambiente poco favorable durante el periodo de concreción de rendimientos, consecuencia de los excesos hídricos y una temperatura media por encima de la esperada de 0,7 °C (Figura 2.1). En contraparte, durante el invierno 2015, las precipitaciones estuvieron en el entorno a lo esperado para el periodo (~600 mm) y temperaturas menores

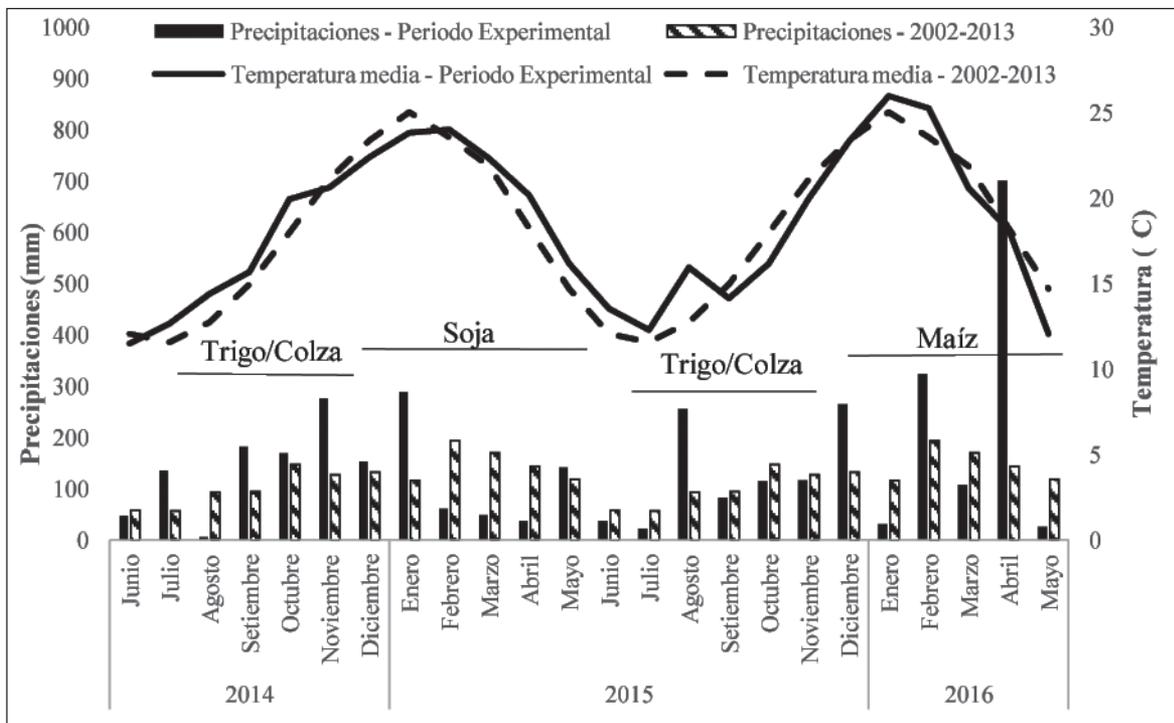


Figura 2.1. Precipitaciones y temperatura media mensual para el período experimental con relación a la media (2002-2013).

a la media (1,5 °C menores a lo esperado) durante el período de concreción de rendimientos (setiembre, octubre y noviembre), lo que determinó un año con mejor potencial para estos cultivos (Figura 2.1).

Durante el verano del año 2014 e inicio del 2015, en el que el cultivo de verano fue soja, las condiciones hídricas fueron muy favorables, con altos niveles de precipitaciones durante los meses de diciembre y enero. Si bien las precipitaciones estuvieron por debajo de lo esperado en los meses siguientes (febrero a abril), las precipitaciones previas evitaron serios problemas de estrés hídrico (Figura 2.1) y las temperaturas en términos medios estuvieron en torno a lo esperado. Para la siembra de verano realizada en el año 2015 (cultivo de maíz) y que se cosechó en abril de 2016, las precipitaciones fueron un 18% superiores a la media y las temperaturas sin mayores desvíos (Figura 2.1). En resumen y de acuerdo con el comportamiento esperado de los cultivos en la región en relación a las variables climatológicas, las condiciones climáticas fueron muy favorables para

los cultivos de verano en ambos años de evaluación (Frank y Viglizzo, 2012; Giménez et al., 2016; Giménez et al., 2017), mientras que fueron desfavorables para los cultivos de invierno durante el primer año de evaluación y muy favorables durante el segundo año de evaluación (Ernst et al., 2016; Takashima et al., 2013).

2.3.2- Relación entre el rendimiento de trigo y el rendimiento de colza-canola

A pesar de las diferencias existentes en la calidad del suelo previamente reportadas para el sitio experimental (Ernst y Siri-Prieto, 2009; Ernst et al., 2020), no fue posible detectar diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos de los cultivos de trigo y colza en función del manejo previo del suelo (Figura 2.2). El rendimiento medio de trigo fue de 4709 kg ha⁻¹ y 6066 kg ha⁻¹ para la zafra 2014 y 2015 respectivamente y de 2707 kg ha⁻¹ y 3129 kg ha⁻¹ para el cultivo de colza-canola en la zafra 2014 y 2015 respectivamente. Las diferencias de

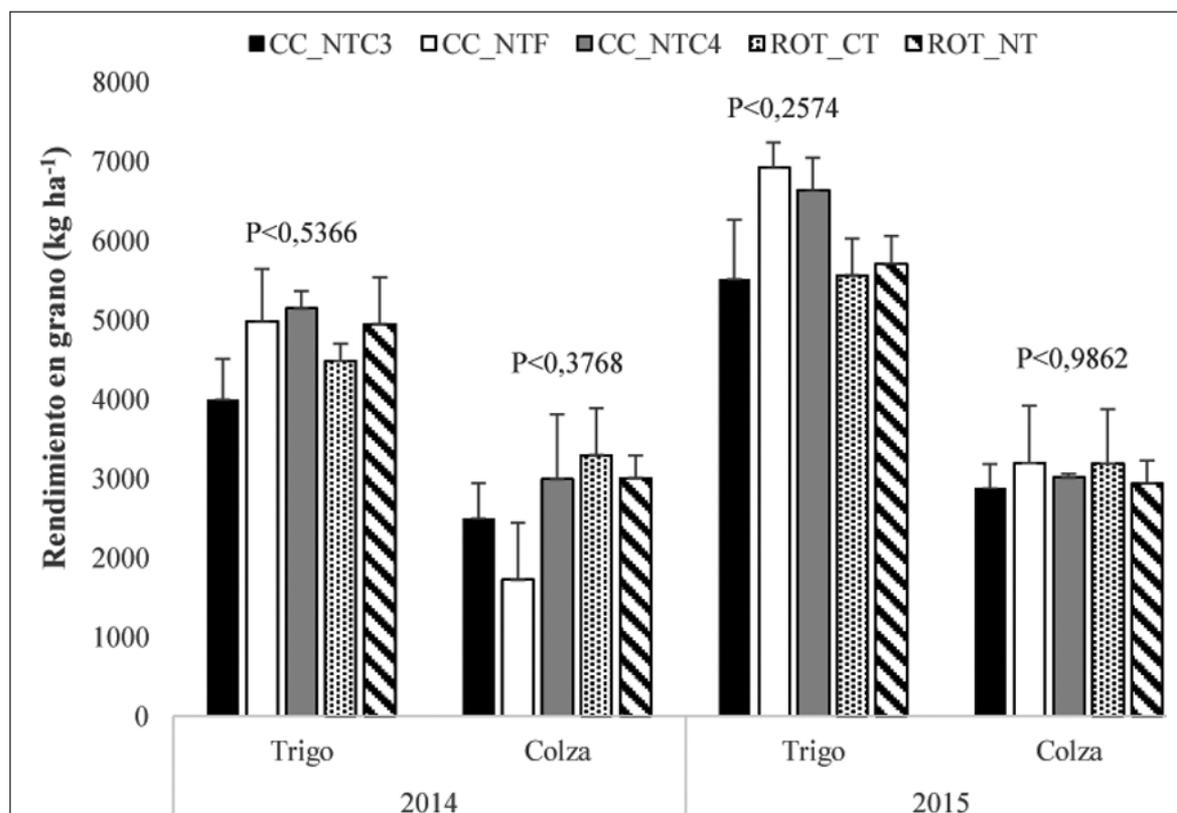


Figura 2.2. Rendimiento en grano para trigo y colza según año de evaluación y manejo anterior del suelo.

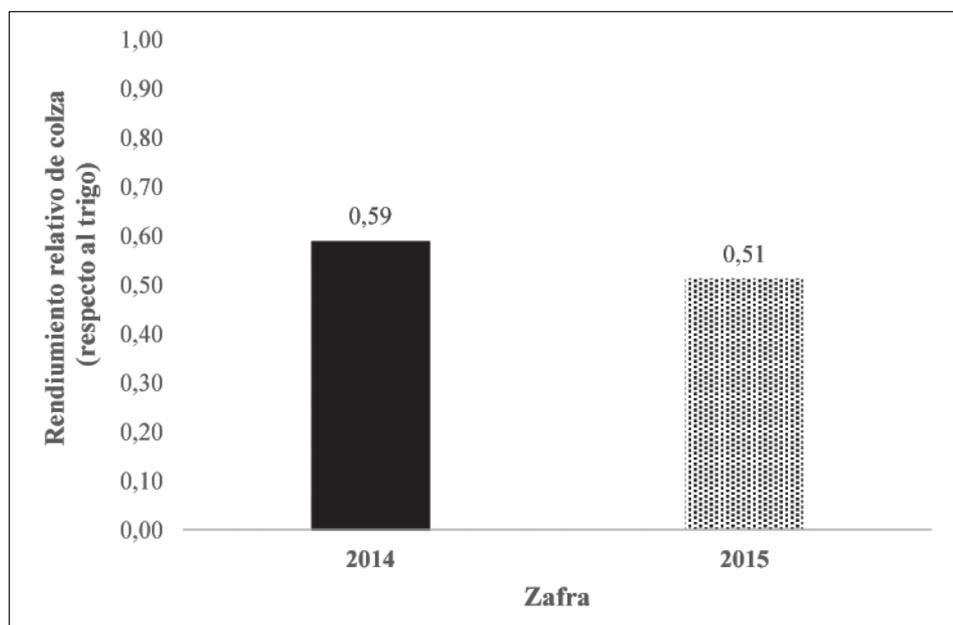


Figura 2.3. Proporción del rendimiento en grano de colza, respecto a rendimiento de trigo según zafra.

rendimiento entre años son acordes a las condiciones climáticas ocurridas en cada zafra (Figura 2.1).

La relación entre el rendimiento de colza y trigo tampoco fue afectada por el manejo anterior del suelo ($P < 0,3567$ y $P < 0,8978$ para la zafra 2014 y 2015 respectivamente). El rendimiento de promedio de colza representó un 59 y 51% del rendimiento promedio de trigo de la zafra 2014 y 2015 respectivamente (Figura 2.3).

2.3.3- Rendimiento de los cultivos de verano según antecesor de invierno

Ambos cultivos de verano, soja (2014) y maíz (2015) lograron un rendimiento significativamente superior cuando fueron sembrados sobre rastrojo de colza que sobre el de trigo. El incremento fue de 11% ($P < 0,04$) en soja y 17% ($P < 0,01$) en maíz (Figura 2.4). En ninguno de los dos cultivos se cuantificó respuesta significativa del manejo anterior del suelo ($P < 0,341$ y $P < 0,960$ para soja y maíz respectivamente) ni la interacción entre el manejo de suelo y el cultivo previo (colza o trigo) ($P < 0,543$ y $P < 0,738$ para soja y maíz respectivamente) sobre el rendimiento de los cultivos de verano.

2.3.4- Margen de los cultivos y las secuencias evaluadas

El margen del cultivo colza fue mayor que el margen del cultivo de trigo en ambos años (Figura 2.5 y Anexo 1 y 2). Estas diferencias están explicadas por costos semejantes en ambos cultivos, pero producto bruto (PB) diferente. El PB tiene dos componentes, la relación de rendimientos entre trigo y colza y las diferencias en el precio del producto (Cuadro 2.2).

El costo de producción de los cultivos de verano (Soja y Maíz), fueron independientes del cultivo de invierno previo, y ambos cultivos tuvieron mayores rendimientos cuando siguieron a colza que cuando siguieron a trigo (Figura 2.4). Por tanto, el margen neto fue mayor cuan-

Cuadro 2.2. Principales medidas de manejo aplicado a cada uno de los cultivos.

Cultivo	Unidades	Zafra	
		2014	2015
Trigo	U\$S kg ⁻¹	0,23	0,16
Colza	U\$S kg ⁻¹	0,50	0,44
Colza/Trigo	Proporción	2,20	2,72

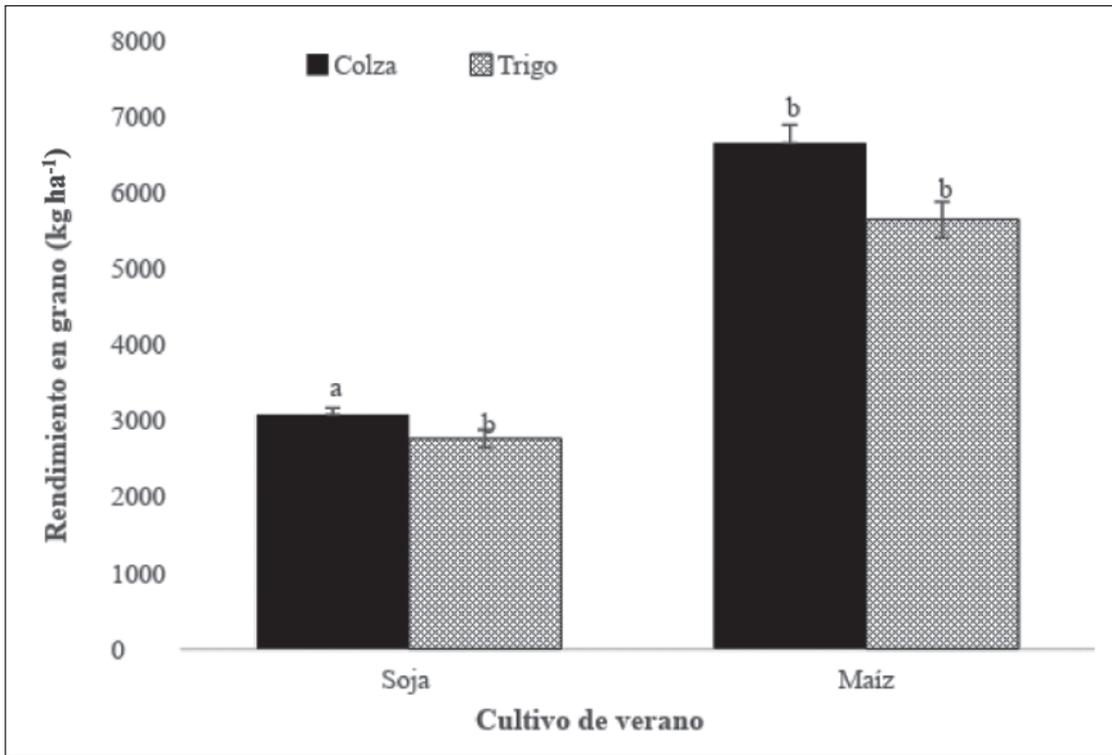


Figura 2.4. Rendimiento en grano de soja y maíz sembrado luego de colza o trigo. Barras de error representan el error estándar. Valores seguidos por la misma letra dentro de cada cultivo no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$).

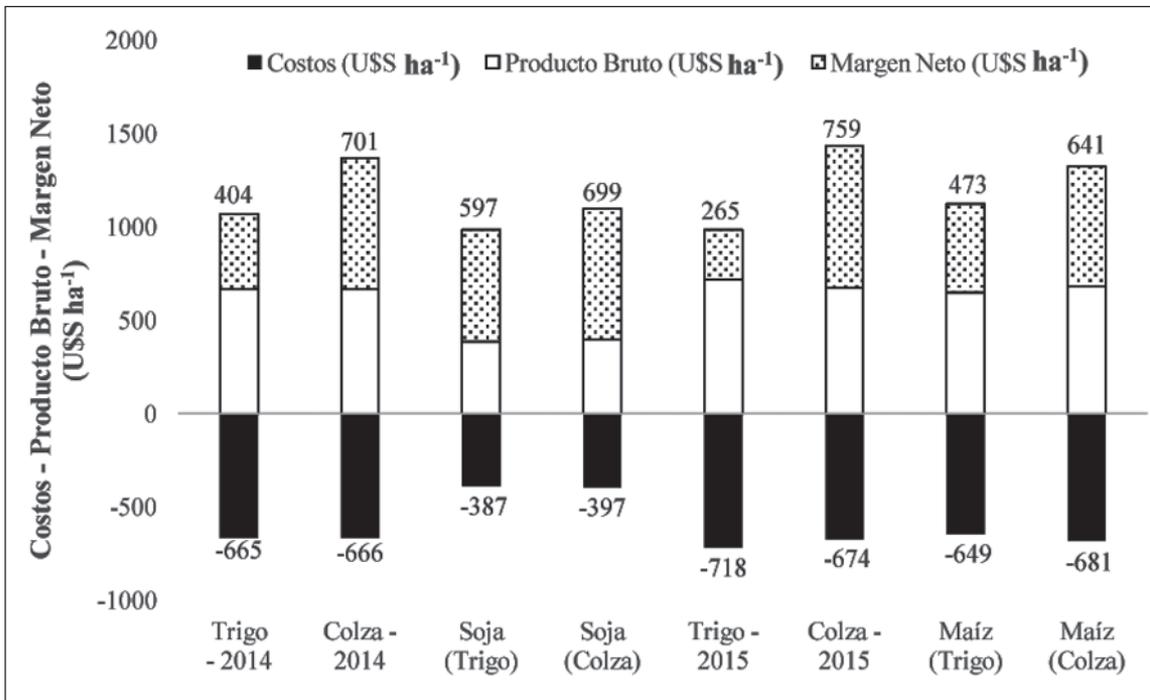


Figura 2.5. Costos totales, producto bruto y margen neto (US\$ ha⁻¹) según cultivo y antecesor para los cultivos de verano.

do el cultivo antecesor fue colza, determinando mayores márgenes para el doble cultivo colza/cultivo de verano que para la alternativa con trigo durante el invierno previo.

2.4) DISCUSIÓN

El cultivo de colza si bien no es una alternativa novedosa a nivel regional, está aumentando su área en los últimos años en la región del Río de la Plata (Oil World, 2018) por motivos económicos y políticos que escapan de este trabajo. Los actuales sistemas agrícolas de la región están dominados por cultivos estivales, principalmente soja (Baeza et al., 2014; Paruelo et al., 2006; Pinto et al., 2017), y el trigo y la cebada han sido hasta el momento las principales alternativas económicas de cultivos invernales (DIEA, 2017). En las condiciones regionales el 89% de la superficie agrícola queda como barbecho invernal (Pinto et al., 2017) y a nivel local es mayormente ocupada con cultivos de coberturas (DIEA, 2017). Por tanto, existen dos opciones para el crecimiento de la superficie sembrada con colza: i) ocupar área que actualmente no está siendo sembrada con un cultivo invernal de renta (barbecho o cultivo de cobertura); ii) insertarse en secuencias que ya utilizan sistemas de dos cultivos al año, rotando durante la estación invernal con cultivos de gramíneas (principalmente trigo), evitando los problemas sanitarios de sembrar el mismo cultivo de invierno todos los años (Carignano et al., 2008; Mazzilli et al., 2016).

Este trabajo representa esta segunda opción, confirmando que la relación esperada para la relación rendimiento de trigo/rendimiento de colza en la región es aproximadamente del 50% (Rondanini et al., 2012) (Figura 2.3). En los años evaluados el precio de colza (sin considerar bonificaciones por aceite) fue en términos medios 2.5 veces mayor que el precio de trigo (Cuadro 2.2). Como los costos de producción resultaron similares (Figura 2.5), el cultivo de colza mostró una ventaja en términos económicos respecto al trigo. Esta ventaja del cultivo de colza es magnificada por la mejora en los rendimientos de cultivo de verano siguientes a colza (Figura 2.4), aun cuando experimentalmente no se explotó la ventaja de cosecha anticipada del cultivo de colza respecto al trigo.

Por tanto, el incremento de rendimiento de soja y maíz luego de colza no sólo resulta de la posible siembra anticipada de cultivos de verano, lo cual es especialmente favorable para el cultivo de soja en la región (Andrade et al., 2015; Andrade y Satorre, 2015; Caviglia et al., 2004).

Cuando se considera a la estación de crecimiento completa, el doble cultivo colza-cultivo de verano lograron un margen bruto 40% y 80% superiores que el doble cultivo trigo-cultivo de verano. Esta diferencia no puede ser extrapolada para un sistema que sustituya trigo por colza, ya que un cultivo continuo de colza durante el invierno se expone a problemas sanitarios importantes (Harker et al., 2014; Hegewald et al., 2018). Por tanto, nuestros resultados resultan útiles cuando colza integra el menú de opciones de cultivos de renta invernal, por lo que el cultivo no puede ser competitivo sino complementario de las otras secuencias posibles.

A pesar de los diferentes estados de conservación del suelo reportados para el sitio experimental (Ernst et al., 2009; Salvo et al., 2014, 2010) y de que las condiciones climáticas generaron (al menos para la zafra de invierno 2014) condiciones potenciales de anegamiento (Figura 2.1), no fue posible detectar cambios en el comportamiento tanto de trigo como de colza en función del manejo anterior del suelo a pesar de que era esperable una mejor respuesta del cultivo de trigo que el de colza en este ambiente. Por último, para el resto de los periodos, donde las condiciones ambientales parecen no haber sido limitantes, los cultivos fueron manejados con agregados de nutrientes medios y por tanto a ese nivel de agregado no se observan diferencias que potencialmente podrían ser detectadas cuando los niveles de fertilización aumentan (Ernst et al., 2018, 2016).

2.5) CONCLUSIONES

Los resultados confirman que en términos medios el rendimiento esperado de colza es del 50% de los de trigo y que ni esta relación ni los rendimientos de los cultivos de invierno y verano sembrados en la misma estación de crecimiento se afectaron por cambios en la calidad del suelo para el periodo experimental, bajo el

sistema de fertilización utilizado. El cultivo de colza fue un mejor antecesor de cultivos de verano que el cultivo de trigo a igual fecha de siembra de los cultivos de verano. Dadas las estructuras de costos de cultivos que no se diferencian de forma importante entre trigo y colza, pero el precio de colza es 2,4 veces superior que el de trigo para el periodo estudia-

do determina que los sistemas que incluyen colza generen márgenes superiores que las secuencias que incluyeron trigo. No obstante, no es posible sembrar esta secuencia todos los años ya que los potenciales problemas sanitarios de la colza eliminarían las ventajas de esta secuencia.

Respuesta de colza-canola a la fertilización nitrogenada y azufrada

3.1) INTRODUCCIÓN

El cultivo de colza-canola (*Brassica napus* L.) es una oleaginosa muy demandante de nutrientes por unidad de grano producido siendo el nitrógeno (N) y potasio (K) los más requeridos, seguidos por fósforo (P) y azufre (S). La extracción se define como los nutrientes que son absorbidos y depositados en tejidos y órganos cosechables, y que por lo tanto no son reciclados debido a que no vuelven a ingresar al sistema suelo (Ciampitti y García, 2007). Un cultivo de colza-canola de 2000 kg ha⁻¹ extrae aproximadamente 76 kg ha⁻¹ de N. Tomando la relación de rendimiento con trigo presentada en el capítulo anterior, un cultivo de trigo de 4000 kg ha⁻¹ extraería aproximadamente la misma cantidad de N (84 kg ha⁻¹) (Ciampitti y García, 2007). De acuerdo con estos autores, para producir 2000 kg ha⁻¹ el cultivo de colza-canola se extraen 22 kg ha⁻¹ de P, 56 kg ha⁻¹ de K, 14 kg ha⁻¹ de S, cantidades superiores a las de un cultivo de trigo de 4000 kg ha⁻¹ el cual extrae 16 kg ha⁻¹ de P, 16 kg ha⁻¹ de K y 8 kg ha⁻¹ de S. Por tanto, con relación a trigo, la colza-canola demanda cantidades inferiores de N, superiores de P y S, y muy superiores de K ya que un cultivo de canola de 2.000 kg ha⁻¹ de grano extrae 40 kg ha⁻¹ más de K que el cultivo de trigo de 4.000 kg ha⁻¹.

Son varios los autores que consideran que el cultivo de colza-canola posee una elevada demanda de N y S, pero especialmente un mayor umbral de requerimiento por unidad de grano producido que los demás cultivos extensivos

(Colnenne et al., 1998). Además, debido a la estrecha relación existente entre N y azufre (S) asociados al rol central en la producción de proteínas (Orlovius, 2003), es necesaria la complementación del N con adecuado suministro de S. Para el caso del S, este limita tanto la producción de grano como la de aceite (Malhi et al., 2007; Pinkerton, 1998), condicionando, además, la respuesta a la disponibilidad de N (Reussi et al., 2012). Por lo tanto, la obtención de altos rendimientos de grano depende de identificar el óptimo estado nutricional del cultivo referido a estos dos nutrientes. Para lograr este objetivo, una estrategia posible es la generación de herramientas de diagnóstico a partir de las curvas de dilución de N y S (Colnenne et al., 1998; Reussi et al., 2012).

El análisis del tejido vegetal es una herramienta eficiente para evaluar la nutrición del cultivo, ya que el contenido de nutrientes en planta es un valor que resulta de la interacción entre el cultivo, el ambiente y el manejo. Esta herramienta se basa en los mismos principios que el análisis del suelo, asumiendo que la concentración de nutrientes en la planta está directamente relacionada con la habilidad del suelo para proporcionarlos y a su vez, con la productividad de las plantas (Correndo y García, 2012). Las curvas de dilución son definidas por los niveles de concentración crítica del nutriente en la biomasa aérea durante todo o parte del ciclo del cultivo (Colnenne et al., 1998). Para N, esta concentración crítica ha sido definida como la mínima concentración de N requerida para lograr la máxima tasa de

crecimiento del cultivo (Greenwood, 2001) y varía con la biomasa aérea producida, ya que se produce un efecto de dilución del nitrógeno en la planta.

La concentración de N crítico es una referencia fundamental en cualquier etapa de crecimiento, ya que permite determinar si la nutrición nitrogenada de los cultivos es óptima o subóptima con respecto a la tasa de crecimiento del cultivo (Gastal y Lemaire, 1997). La diferencia entre la concentración de N actual (N_a) y el correspondiente nivel de N crítico (N_c) para una cantidad dada de biomasa aérea, indica la intensidad de la deficiencia de N (o exceso) experimentada por el cultivo. Varios autores han demostrado que la reducción en la tasa de crecimiento del cultivo es proporcional a la relación N_a/N_c y han propuesto el uso de esta relación como un índice de nutrición nitrogenada a partir del cual se puede predecir la respuesta del cultivo al agregado de N vía fertilizante (Colnenne et al., 1998; Justes et al., 1994).

No obstante, la concentración de N crítico no debe ser un objetivo en sí mismo, sino que es una referencia fundamental en cualquier etapa de crecimiento que va a permitir separar situaciones en las que la concentración del nitrógeno es limitante para la producción de biomasa del cultivo, de situaciones en las que se encuentra en exceso, y no logran ningún incremento adicional en la producción de biomasa del cultivo (Gastal y Lemaire, 1997). Para una situación dada y en cualquier momento del período de crecimiento del cultivo, es posible determinar un Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) como la relación entre la concentración actual de N y la concentración crítica de N, correspondiente a la masa real del cultivo (Lemaire et al., 2008). Los valores de INN próximos a uno indican que en la fecha de la determinación del porcentaje N actual el cultivo está en situación de suministro de N no limitante. Valores mayores a 1 indican un consumo de lujo de N y valores inferiores indican deficiencia de N. La intensidad de esta deficiencia se puede estimar por el valor del INN (Lemaire et al., 2008).

A nivel local se han realizado avances en esa dirección y existen curvas de dilución de N y S

para Uruguay (Ferreira y Ernst, 2014). Estos autores obtuvieron ecuaciones de dilución para la concentración crítica de nitrógeno y azufre ($N_c = 5,21 MS^{-0,36}$ y $S_c = 1,22e^{-0,18MS}$ respectivamente). Para una situación dada y en cualquier momento del período de crecimiento del cultivo, es posible determinar un Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) como la relación entre la concentración actual de N y la concentración crítica de N, correspondiente a la masa real del cultivo:

$$INN = N_{act} / N_c$$

Para determinar el índice de nutrición azufrada (INS) se aplica la misma metodología

$$INS = S_{act} / S_{crítico}$$

A partir de este trabajo se determinó que el índice crítico de nutrición azufrada fue de 0,88 y 0,74 para la máxima producción de biomasa en elongación y producción grano respectivamente. Para nitrógeno solamente se encontró un valor crítico de 1,04 para la producción de biomasa, mientras que para la producción de grano se observó que bajo condición de azufre suficiente no existió limitante de nitrógeno en todo el rango de estado nutricional estudiado. En cambio, bajo la condición de azufre limitante la respuesta del rendimiento al estado nutricional nitrogenado fue lineal. La falta de relación para la condición azufre suficiente responde a que todas las parcelas también tuvieron un INN en el rango definido como no limitante. La cantidad media de St absorbida en la condición azufre suficiente al inicio de elongación (C1) fue de 17,5 kg ha⁻¹, con un mínimo de 6 kg ha⁻¹. En tanto, en la condición de S limitante en ese estadio, la media fue de 5,6 kg ha⁻¹ de St absorbido, lo que estaría indicando la necesidad de una cantidad mínima absorbida de S (superior a 6 kg ha⁻¹) para alcanzar el rango de rendimiento máximo. Los resultados de ese trabajo sugieren que, en condiciones de nutrición azufrada suficiente, la restricción de N limitante se puede levantar con la aplicación de fertilizante nitrogenado en elongación, aunque se han hecho pocos avances en la escala de dosis a utilizar una vez detectada la deficiencia (Ferreira y Ernst, 2014).

Otro aspecto poco estudiado del cultivo en nuestras condiciones es la eficiencia de uso del

N y S agregado. En este sentido una de las maneras de evaluar el proceso de absorción de N es mediante la eficiencia agronómica de uso del nitrógeno (EAUN), la cual refleja el rendimiento obtenido dada la cantidad de N disponible (en suelo + agregado) durante el ciclo del cultivo (indicando la transformación de N disponible en rendimiento). Dicha eficiencia puede descomponerse en dos componentes: 1) la eficiencia de absorción (EAN), la cual representa la relación entre el N absorbido y el N disponible/aplicado, y 2) la eficiencia fisiológica de uso del N (EFUN) que representa la relación existente entre rendimiento y el N absorbido por el cultivo (Giller et al., 2004). En general se ha encontrado que la EAUN disminuye de forma importante en la medida que se aumenta la disponibilidad de N para el cultivo de colza-canola (Agosti, 2007; Dreccer et al., 2000; Hocking et al., 1997). A su vez, otro factor que afecta la EAUN es la fertilización con S, dada la interacción existente entre el N y el S, donde la misma afecta positivamente la EAN sin alterar de manera importante la EFUN (Agosti, 2007; Salvagiotti et al., 2009).

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la respuesta a N y S en el cultivo de colza-

canola, validar las herramientas de decisión generadas previamente por Ferreira y Ernst (2014) y evaluar la eficiencia de uso de N y S en el cultivo.

3.2) MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1- Características de los ensayos y tratamientos aplicados

Se instalaron un total de 5 experimentos en chacras comerciales de producción (dos ensayos en la zafra 2014 y 2016 y uno durante la zafra 2015) ubicadas a una distancia no mayor a los 50 km de la estación experimental Mario A. Cassinoni, 58°03'W, 32°55'S (Figura 3.1). En cada sitio se instalaron un total de 8 tratamientos, compuestos por agregado de nitrógeno (N) y azufre (S) a siembra e inicio de elongación (C1) de forma de generar variabilidad en el índice de nutrición nitrogenada (INN) y azufrada (INS) al estadio de C1 con el primer agregado y la respuesta al agregado de N y S en función de los índices con el segundo agregado a C1 (Cuadro 3.1).

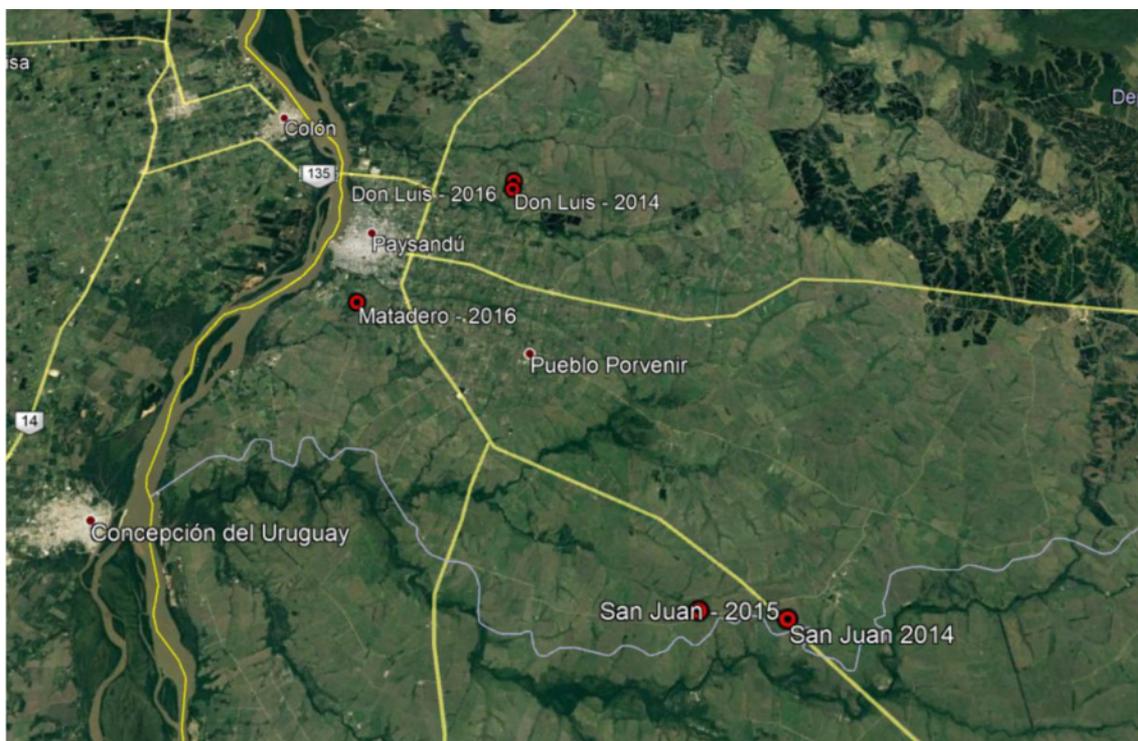


Figura 3.1. Ubicación de los sitios experimentales.

Cuadro 3.1. Tratamientos aplicados.

Nº	Tratamientos	Instalación		Momento de aplicación Inicio elongación		Total	Total
		N	S	Unidades ha ⁻¹			
				N	S	N	S
1	N0-N0-S0-S0	0	0	0	0	0	0
2	N20-N20-S0-S0	20	0	20	0	40	0
3	N20-N20-S20-S0	20	20	20	0	40	20
4	N20-N60-S20-S0	20	20	60	0	80	20
5	N20-N60-S20-S10	20	20	60	10	80	30
6	N80-N20-S20-S10	80	20	20	10	100	30
7	N40-N120-S30-S0	40	30	120	0	160	30
8	N40-N80-S30-S0	40	30	80	0	120	30

Las parcelas fueron de 3 * 10 m, utilizando Urea (46-0-0/0), Sulfato de Amonio (21-0-0/24) y la combinación de ambos para lograr las diferentes combinaciones de N y S. En todos los casos la variedad utilizada fue Rivette y se agregaron un total de 46 kg de P₂O₅ y 60 kg de K₂O, evitando que estos nutrientes fueran limitantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo. A su vez los ensayos se mantuvieron libres de plagas y enfermedades. De esta forma, las variaciones en rendimiento se atribuyen exclusivamente a las diferencias en el suministro de nitrógeno y azufre.

3.2.2- Características de los sitios experimentales

Los sitios experimentales estaban en un sistema de agricultura continua en siembra directa, salvo el sitio «Matadero» el cual fue mínimamente laboreado previo a la siembra del cultivo de colza. En todos los casos el cultivo antecesor fue soja de primera.

Con la única excepción del sitio «Matadero» la fecha de siembra estuvo en el rango donde es posible maximizar los rendimientos del cultivar sembrado (Cuadro 3.2), con lo cual nos aseguramos de que la fecha de siembra no fuera una limitante mayor del potencial de rendimiento del cultivo (ver Sección 4).

3.2.3- Determinaciones realizadas

En cada sitio donde se realizaron los experimentos (a excepción del año 2014) fue determinado el nivel de nitratos (N-NO₃) en suelo al momento de la siembra (Cuadro 3.2). Por otra parte, fue evaluada la materia seca y la absorción de nitrógeno (N) y azufre (S) en tres momentos del ciclo: inicio de elongación (C1), Floración (F1) y cosecha. En este último estadio se evaluó el N y S acumulado en grano y el resto de la biomasa aérea de forma separada. En el estadio de C1 y F1, para realizar la

Cuadro 3.2. Características de los sitios donde se instalaron los experimentos.

Zafra	Sitio	Fecha de siembra	Coneat	Suelo	N-NO ₃ (0-20)	N-NO ₃ (20-40)
2014	Don Luis	09 mayo	10,15	Brunosol Éutrico Lúvico F	—	—
	San Juan	11 mayo	11,3	Brunosol Éutrico Típico F, mp	—	—
2015	San Juan	10 mayo	10,9	Brunosol Éutrico Lúvico LAc	4,8	4,6
2016	Don Luis	26 mayo	11,4	Brunosol Éutrico Típico F, mp	4,9	4,3
	Matadero	10 junio	11,3	Brunosol Éutrico Típico F, mp	4,5	3,7

estimación se cortaron al ras del suelo 2 m lineales (10,5 m²), mientras que cosecha de cortaron 4 m lineales de cada parcela.

Las muestras obtenidas a madurez fisiológica fueron trilladas y con el peso del grano y humedad se ajustó el rendimiento a la humedad comercial del cultivo (8%). A su vez, además del N en grano fue evaluado el % de materia grasa (%MG) utilizando el método Soxhlet, expresando los resultados en base seca.

3.2.4- Análisis de los datos

Para el análisis de los datos se utilizaron diferentes estrategias, cuando se estudió el efecto medio de los tratamientos para las distintas variables evaluadas, fue realizado un análisis de varianza, evaluando el efecto tratamiento y su interacción con la zafra y el sitio experimental. Por otra parte, la mayor parte del análisis fue hecho a partir regresiones entre variables y la significancia de estas evaluada a través de análisis de varianza de la regresión.

3.3) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1- Caracterización climática del periodo experimental

Las condiciones climáticas fueron variables entre años, lo cual permitió evaluar la respuesta a la fertilización en ambientes contrastantes. Desde el punto de vista térmico, la zafra 2014, presentó un comportamiento semejante a la media en las primeras etapas del cultivo, pero con temperaturas mayores en el periodo de elongación y llenado de grano. En contraparte, la zafra 2015 presentó temperaturas por encima de la media en gran parte del periodo experimental, lo cual no es adecuado para el desarrollo del cultivo. Por último, la zafra 2016 presentó temperaturas por debajo de lo esperado en la mayor parte del ciclo, determinando un muy buen ambiente para los cultivos (Figura 3.2).

Las precipitaciones durante la zafra 2014, con excepción de los meses de junio y agosto donde la precipitación fue 11 y 88 mm menos

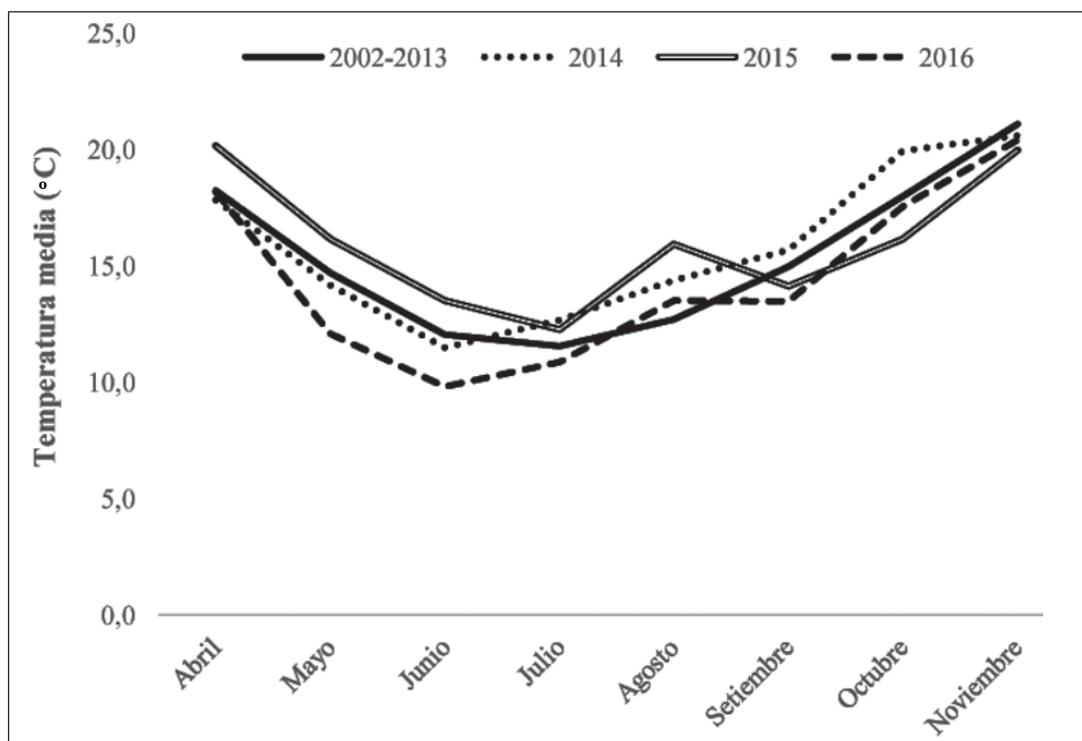


Figura 3.2. Temperatura media mensual del periodo experimental con relación a la media del periodo 2002-2013.

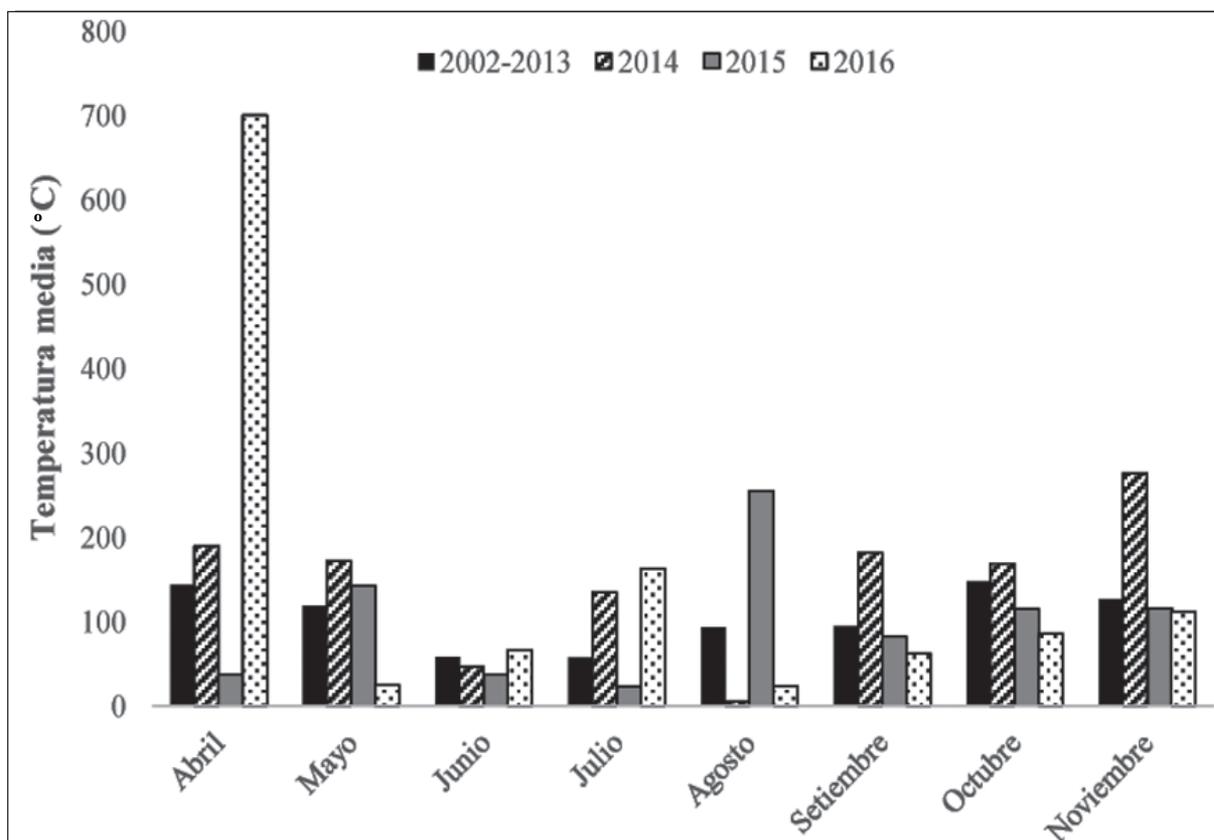


Figura 3.3. Precipitaciones mensuales del periodo experimental con relación a la media del periodo 2002-2013.

que la media, fueron muy superiores (435 mm), lo que determinó una zafra sin limitantes hídricas, pero probablemente con periodos de anegamiento, en especial en el periodo de floración y llenado de grano. Por su parte, la zafra 2015, se caracterizó por bajo nivel de precipitaciones en todo el periodo (salvo el mes de agosto), lo que determinó un ambiente donde la disponibilidad de agua puede haber limitado los rendimientos. Por último, la zafra 2016 se caracterizó por un exceso de precipitaciones previo a la siembra de los cultivos, lo cual complicó el proceso de siembra, y un exceso de precipitaciones durante las etapas iniciales (Julio), aunque el resto del periodo las precipitaciones estuvieron por debajo de la media, lo cual puede haber generado algunos problemas de déficit hídrico (Figura 3.3).

Cómo resumen del periodo podemos concluir que la zafra 2016 fue la que en términos climáticos presentó mejores condiciones, tanto de temperaturas, como de disponibilidad hídrica,

aunque potencialmente con algunas deficiencias. En contraparte, la peor zafra desde el punto de vista climático fue el 2015, donde las elevadas temperaturas y los periodos de deficiencia hídrica parecen haber sido la norma. Por último, la zafra 2014 tuvo precipitaciones por encima de lo esperado en algunos periodos, lo cual es probable que haya generado problemas de anegamiento, y las temperaturas estuvieron un poco por encima de la media. Todo esto la ubica en una condición intermedia entre las anteriores zafras.

3.3.2- Resultados globales de los ensayos

El objetivo de los tratamientos aplicados fue lograr variabilidad en los resultados y eso fue logrado en la medida que la variabilidad, especialmente para el rendimiento en grano fue importante y la diferencia entre el rendimiento mínimo y máximo estuvo entre 1090 y 2351 kg

Cuadro 3.3. Rendimiento, peso de grano y variabilidad según sitio experimental.

Zafra	Sitio	Variable	Unidad	Media	Máximo	Mínimo	%CV
2014	Don Luis	Rendimiento	kg ha ⁻¹	1338	2188	578	29,5
		Peso de grano	g	2,8	3,1	2,6	5,1
		Materia grasa	%	45	47,4	41,4	3,2
2014	San Juan	Rendimiento	kg ha ⁻¹	2269	2897	1800	10,6
		Peso de grano	g	3,1	3,4	2,9	4,4
		Materia grasa	%	45,6	48,0	41,8	2,97
2015	San Juan	Rendimiento	kg ha ⁻¹	1647	2946	1005	30,1
		Peso de grano	g	3,5	4,0	2,9	8,6
		Materia grasa	%	46,2	51,4	42,7	4,9
2016	Don Luis	Rendimiento	kg ha ⁻¹	1636	2464	677	29,6
		Peso de grano	g	2,7	2,0	2,3	7,6
		Materia grasa	%	48,1	50,8	43,8	4,1
2016	Matadero	Rendimiento	kg ha ⁻¹	2580	3531	1180	24,1
		Peso de grano	g	3,1	3,7	2,6	8,4
		Materia grasa	%	49,2	51,3	44,6	3,4

ha⁻¹. La variabilidad tanto para el peso de grano como para la materia grasa fue de menor magnitud consecuencia de los tratamientos, aunque para todas las variables las diferencias medias entre años/sitios, fueron muy importantes (Cuadro 3.3).

Por su parte existió una fuerte relación entre el número de granos y el rendimiento, y una escasa relación entre el peso de grano y el rendimiento (Figura 3.4). Estas relaciones están dentro del rango esperado para la especie (Angadi et al., 2003; Harker et al., 2015), pero reafirman que las medidas de manejo tienen que lograr aumentar el número de granos por unidad de superficie para lograr aumentos de rendimiento.

No se encontró asociación entre los rendimientos obtenidos y los niveles de materia grasa en grano (Figura 3.5). A su vez sólo 3 de un total de 120 muestras tuvieron valores por debajo de la referencia comercial de 42% (Figura 3.5). No obstante, se puede observar que existe una leve tendencia a que por encima de los 2500 kg ha⁻¹ los niveles de materia grasa en grano siempre superan el valor de 42%.

A pesar de estas tendencias observadas en los niveles de materia grasa, para el análisis de

la respuesta a la fertilización se tomará en cuenta el rendimiento en grano, ya que existió una asociación lineal entre el rendimiento en grano y el rendimiento en materia grasa (Figura 3.6). Esta asociación va en línea con reportes previos que muestran que tanto la concentración de materia grasa como el peso de grano son características estables (Gomez y Miralles, 2011; Rondanini et al., 2017).

3.3.3- Efecto medio de los tratamientos

Existió un fuerte efecto zafra ($P < 0,0046$) y tratamiento aplicado ($P < 0,0012$), sin interacción entre la zafra y el tratamiento aplicado ni entre el sitio experimental y el tratamiento ($P < 0,9265$ y $P < 0,5862$ respectivamente), lo que deja claro que, a pesar de los distintos sitios experimentales y las zafras estudiadas, el efecto de la fertilización aplicada mostró una respuesta estable (Figura 3.7).

En términos medios, los tratamientos que tuvieron el agregado de al menos 80 kg N ha⁻¹ y 20 kg ha⁻¹ o más de S tendieron a maximizar los rendimientos y se diferenciaron de los que los tratamientos que tuvieron 40 kg N ha⁻¹ y no más

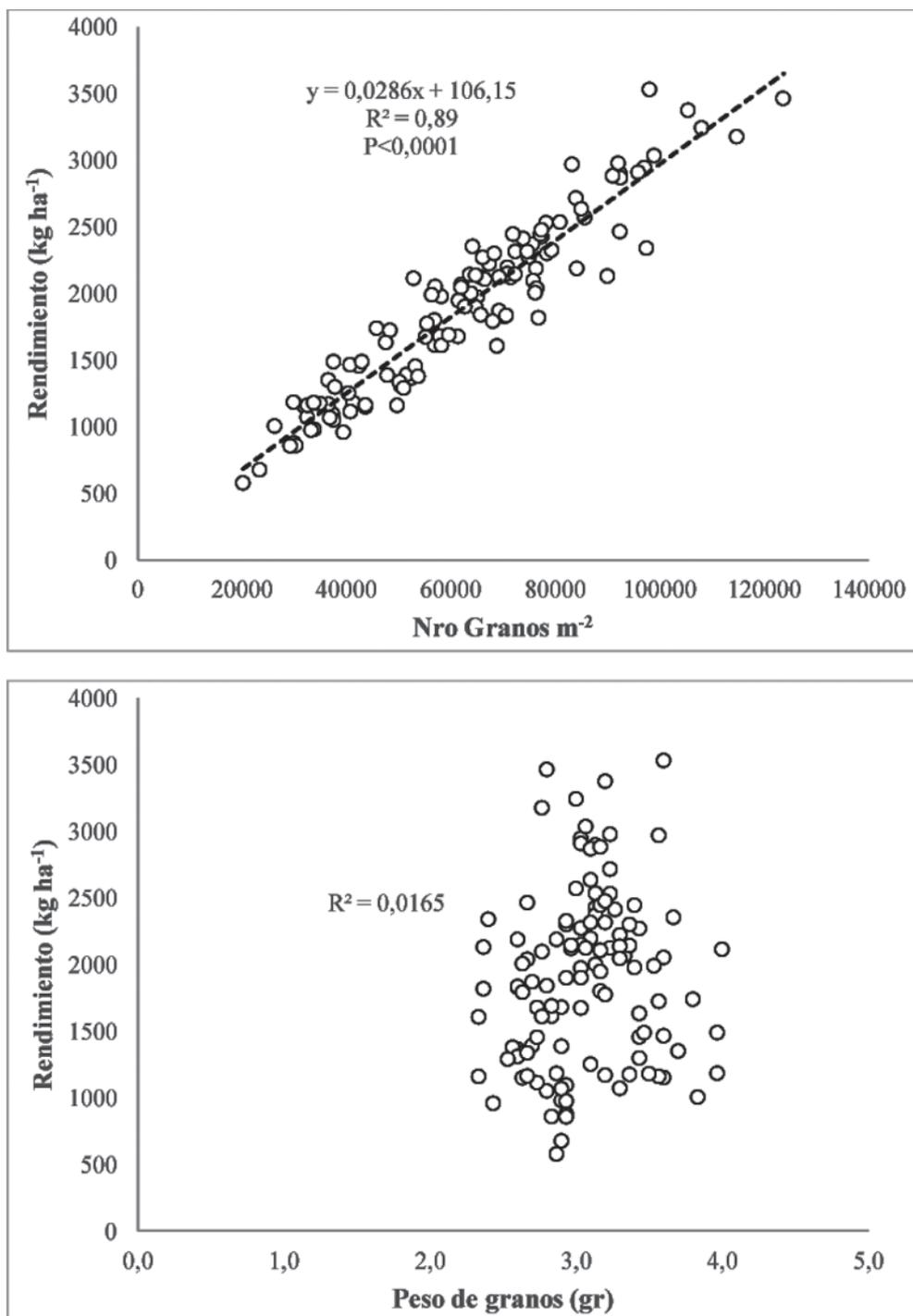


Figura 3.4. Relación entre el número de granos y el rendimiento (arriba) y el rendimiento y peso de grano (abajo).

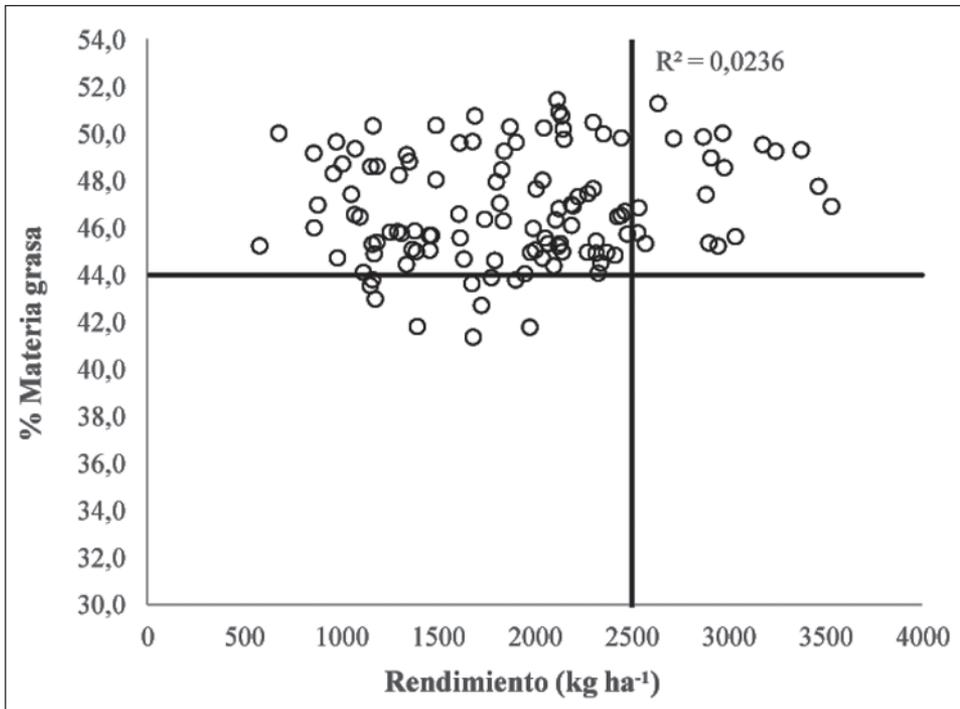


Figura 3.5. Relación entre el rendimiento en grano y la concentración de materia grasa.

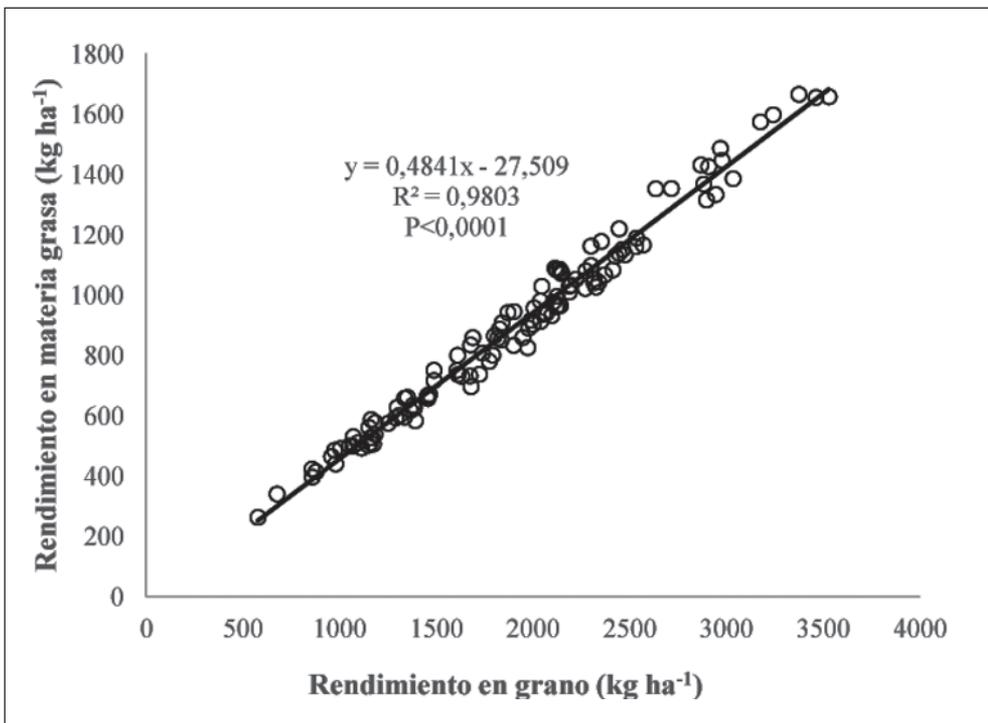


Figura 3.6. Relación entre el rendimiento en grano y el rendimiento en materia grasa.

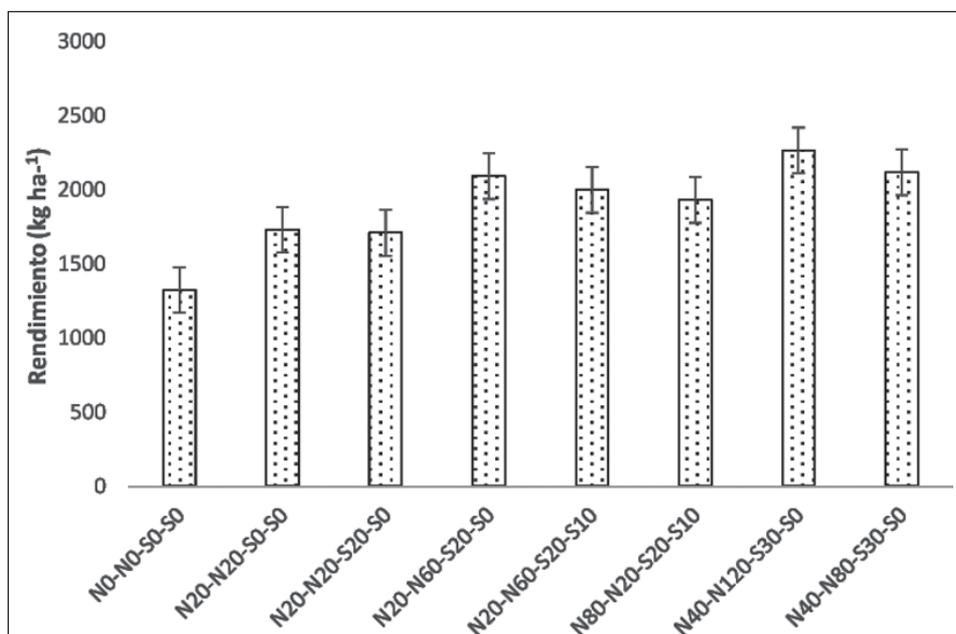


Figura 3.7. Rendimiento en grano en función del tratamiento aplicado. Valores seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$).

de 20 kg ha⁻¹ de S (Figura 3.7). En las secciones siguientes se presentará el resultado de análisis con relación a las curvas de dilución propuestas por Ferreira y Ernst (2014).

3.3.4- Índices de nutrición

Los sitios fueron clasificados en función de si el índice de nutrición nitrogenada y azufrada

estuvo por encima o por debajo de los valores críticos propuestos por Ferreira y Ernst (2014) (1,04 y 0,88 para N y S respectivamente) (Figura 3.8). Solo 2 parcelas de 120 lograron INN superiores al propuesto al estadio de C1, y un 19 % de las parcelas (23 de 120) alcanzaron valores de suficiencia de S. Esto muestra que la disponibilidad inicial de suelo (Cuadro 3.2) y los agregados realizados al momento de instala-

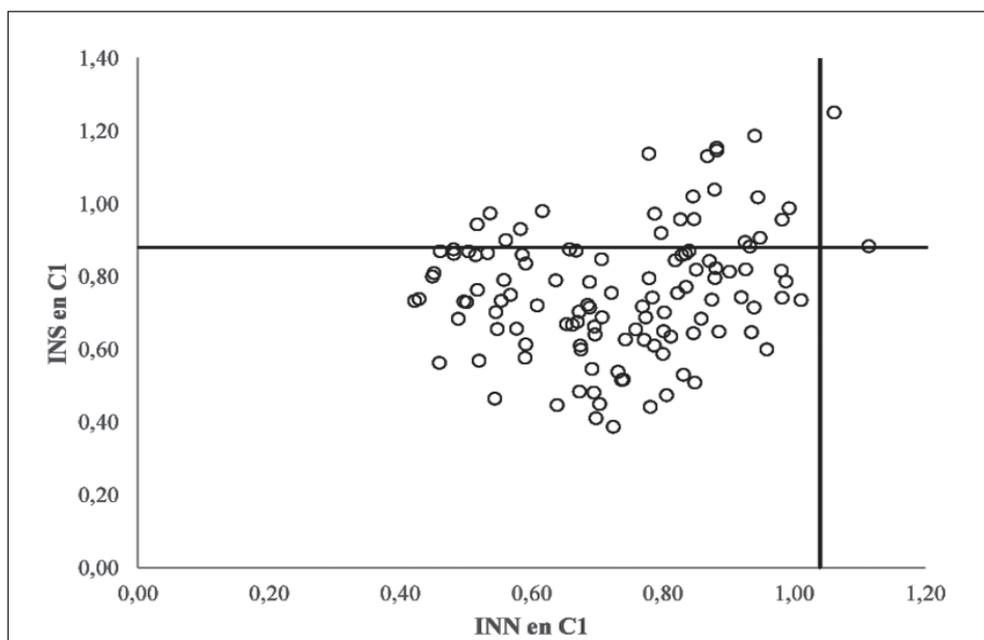


Figura 3.8. Relación entre el INN y el INS al estadio de C1.

ción de los experimentos (Cuadro 3.1) en general no fueron efectivos para alcanzar niveles de suficiencia.

Cuando relacionamos el INN y la cantidad de nitrógeno agregado, se observó que, dado el diseño de los tratamientos, sólo existen tratamientos sin agregado de S a siembra a bajas dosis de N, por lo cual no es posible analizar la interacción N/S para las dosis mayores de N.

Sólo fue posible lograr valores mínimos por encima de 0,6 en el INN cuando el agregado fue de al menos 80 UN ha⁻¹. No obstante, en algunos sitios, dado el aporte del suelo, se lograron valores cercanos a la referencia (1,04) aún con agregados de 20 kg N ha⁻¹, aunque la frecuencia de logros aumenta a partir del agregado de 40 UN ha⁻¹ (Figura 3.9). Esta dispersión está explicada por dos factores, el aporte

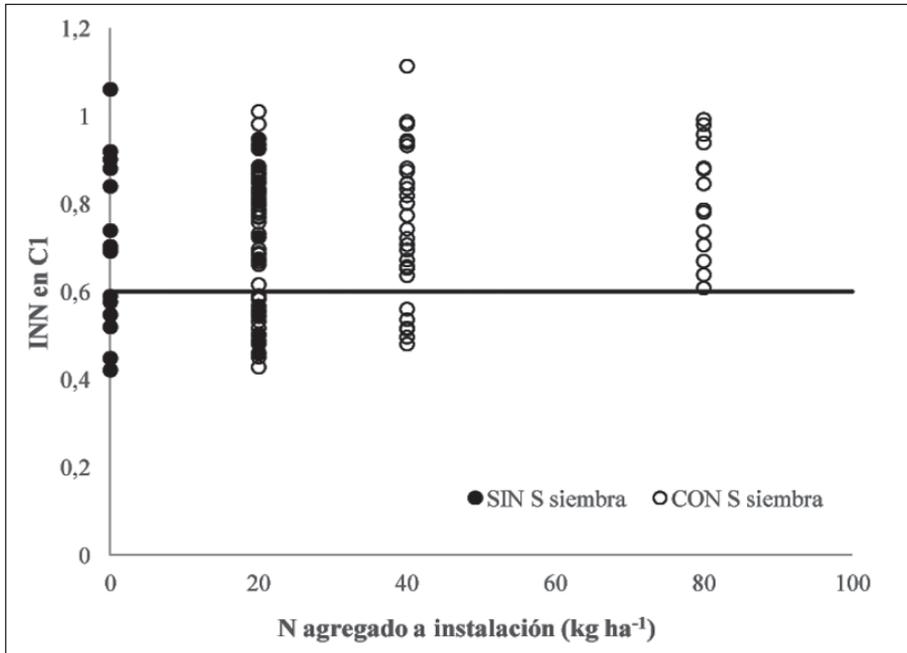


Figura 3.9. Relación entre el N agregado a instalación y el INN a C1.

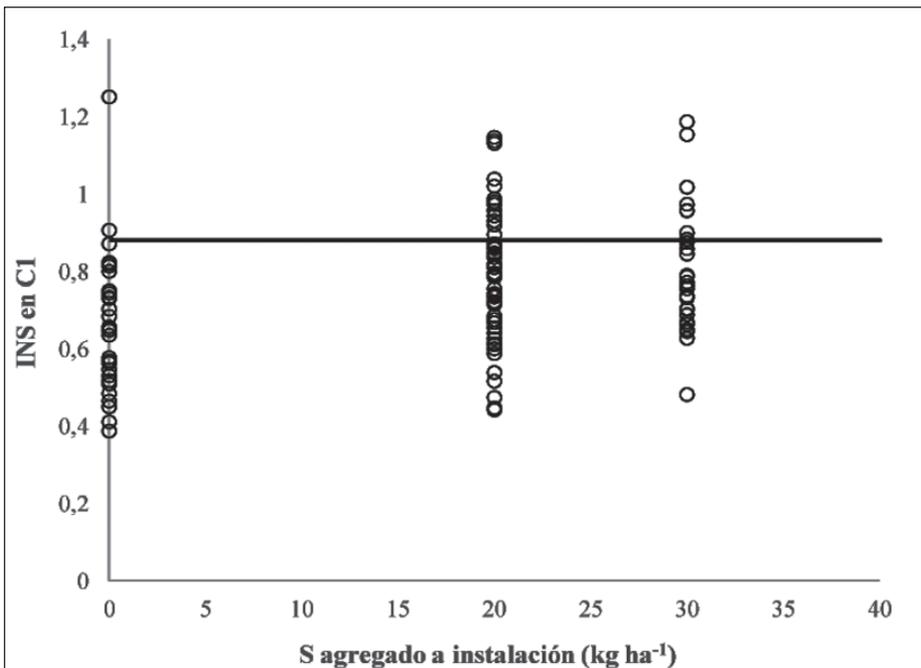


Figura 3.10. Relación entre el S agregado a instalación y el INS a C1.

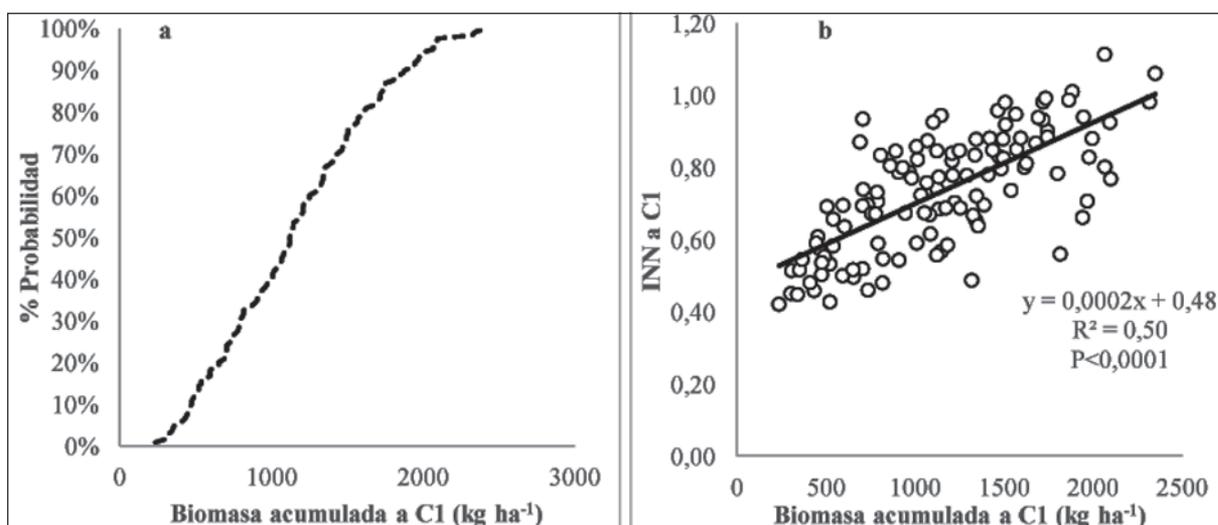


Figura 3.11. a) Distribución de la biomasa acumulada a inicio de elongación (C1), b) Relación entre la biomasa acumulada al estadio de C1 e índice de nutrición nitrogenada.

del suelo y la demanda del cultivo (explicada por el crecimiento en ese periodo). El primer factor parece poco relevante si consideramos los niveles de $N-NO_3^-$ en suelo al momento de la instalación de los experimentos (Cuadro 3.2), mientras que el segundo puede ser relevante, dada la variabilidad de biomasa acumulada en ese estadio del cultivo (Figura 3.11).

Para el caso del agregado de S, la situación parece más clara, la probabilidad de estar por encima del valor crítico de INS aumenta en la medida que se agregaron al menos 20 kg S ha^{-1} , valor que está en línea con varios trabajos previos (Agosti, 2007; Ferreira y Ernst, 2014; Salvagiotti et al., 2009).

La biomasa acumulada hasta C1 fue muy variable, destacándose el hecho de que un 40% de las parcelas acumularon menos de 1000 kg ha^{-1} de biomasa aérea. Si bien esto parece limitante con relación a los esperado para cultivos de alta productividad, refleja la realidad productiva actual (Figura 3.11a). A su vez, independientemente del tratamiento aplicado, se encontró una fuerte asociación entre la biomasa acumulada a ese estadio y el valor del INN, lo que indica que, en las situaciones evaluadas, el déficit de N determina limitaciones en el crecimiento del cultivo (Figura 3.11b).

Independientemente de la cantidad de nitrógeno y azufre agregado al estadio de C1, existió una relación significativa entre el rendimiento

relativo a la media del año y el valor de INN al estadio de C1, lo que deja en claro la importancia de la biomasa acumulada y el estado nutricional sobre el rendimiento final del cultivo (Figura 3.12)

No fue posible, con los datos generados encontrar asociaciones relevantes con azufre (S) y su interacción con nitrógeno, lo cual puede estar explicado por el aporte del nutriente que se viene realizando en los actuales sistemas de producción, situación diferente a la dominante en el trabajo de Ferreira y Ernst (2014). Resultados con escasa respuesta e interacción entre N y S fueron previamente reportados para la región por Agosti (2007), lo que no indica ausencia de respuesta al nutriente, sino que el sistema de producción está agregando el mismo en el resto de la secuencia.

No fue posible encontrar una asociación entre los valores del INN en el estadio de C1 y la respuesta al agregado de N en ese estadio. En la medida que la mayoría de los sitios presentaban valores de $INN < 1,04$ (Figura 3.8), sólo pudo ser analizada la respuesta de acuerdo con los valores de referencia definido por Ferreira y Ernst (2014) y separando las parcelas en función del valor del INS (0,88). Cuando el cultivo al estadio de C1 presentó valores de suficiencia de azufre ($INS > 0,88$), si bien existió respuesta al agregado de N, esta fue mucho más variable y de menor magnitud que cuando el INS mostraba deficiencia (Figura 3.13).

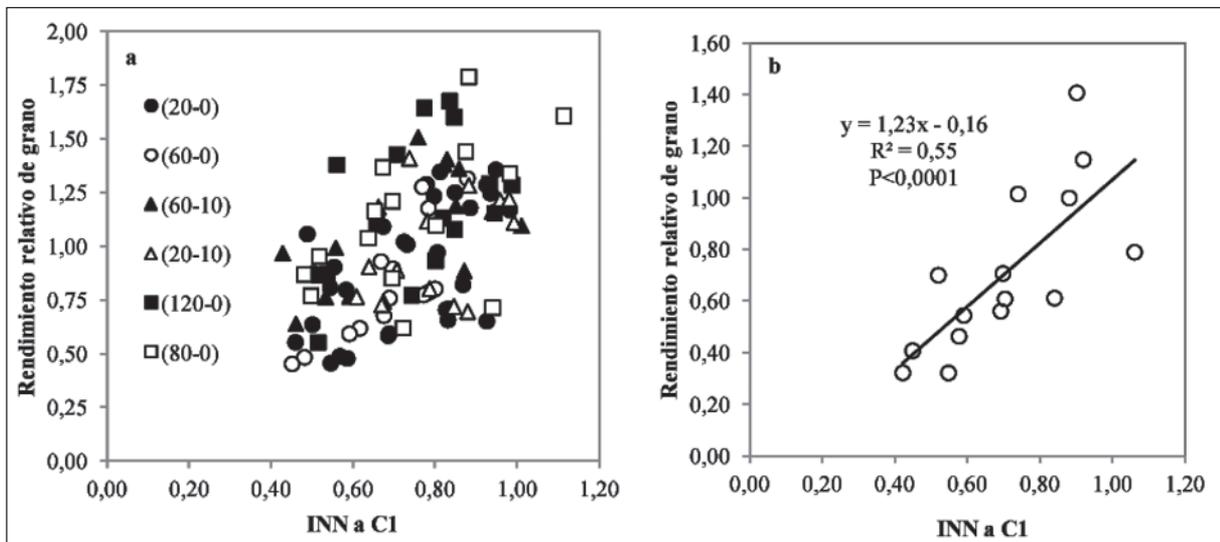


Figura 3.12. a) Relación entre el índice de nutrición nitrogenada a C1 (INN) y el rendimiento relativo en grano según agregado de nitrógeno y azufre a ese estadio (N-S) y **b)** Relación entre el índice de nutrición nitrogenada a C1 (INN) y el rendimiento relativo en grano para los testigos sin fertilización nitrogenada.

3.3.5- Eficiencia de uso del nitrógeno

La eficiencia agronómica de uso del nitrógeno (EAUN) presentó poca variabilidad en función del agregado de S (datos no presentados), posible-

mente asociado a la escasa variación en los niveles de azufre. Desde el punto de vista de la eficiencia agronómica ((rendimiento tratamiento – rendimiento testigo) / N total agregado) existió una disminución exponencial en la medida que

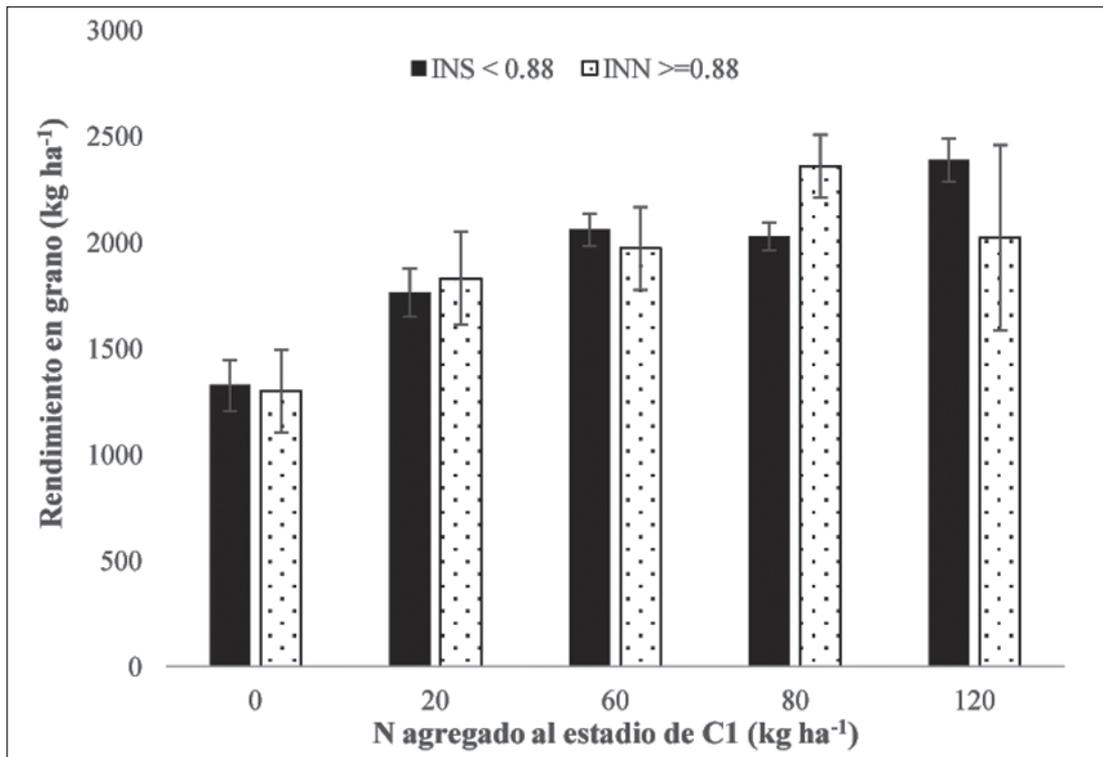


Figura 3.13. Rendimiento en grano según INS al estadio de C1 y dosis de N agregado en ese mismo estadio.

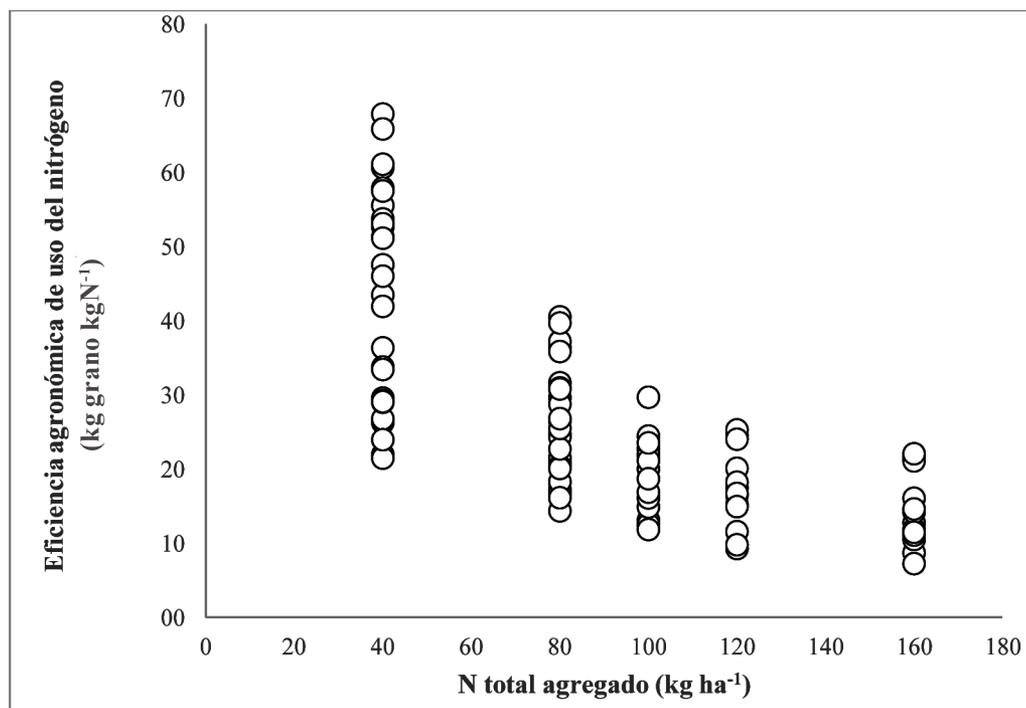


Figura 3.14. Eficiencia agronómica de uso del nitrógeno en función del nitrógeno total agregado.

aumentaban las dosis de N agregadas (Figura 3.14). No obstante, en el rango de dosis más probable a utilizar a nivel comercial (entre 80 y 120 kg N ha⁻¹) la eficiencia media fue de 25,4 kg grano kg N agregado⁻¹, con un mínimo de 16,1 y un máximo de 40,6, y a las mayores dosis (160 kg N ha⁻¹), lo que determina que considerando la relación histórica de precios entre el nitrógeno y el grano de colza, es rentable la fertilización nitrogenada en todo el rango estudiado.

3.4) CONCLUSIONES

El trabajo realizado permitió evaluar con un grupo de datos independientes, el modelo de fertilización nitrogenada propuesto por Ferreira y Ernst (2014). En este sentido los resultados encontrados resaltan la fortaleza del índice de nutrición nitrogenada (INN) a inicio de elongación (C1) como indicador del potencial del cultivo y su capacidad de respuesta a agregados de nitrógeno. Independientemente del manejo posterior del cultivo, mayores valores del INN al estadio de C1 estuvieron asociados a mayores rendimientos en grano, y altos valores del INN siempre estuvieron asociados a mayores acumulaciones de biomasa.

Desde el punto de vista de la respuesta al agregado de N al estadio de C1, no fue posible ajustar un modelo que relacionara el INN y la respuesta, pero para las situaciones con INN < 1,04 fue posible encontrar respuestas diferenciales en función del índice de nutrición azufrada (INS). En este sentido, la respuesta al agregado de N fue de mayor magnitud bajo condiciones de deficiencias de azufre (INS < 0.88).

La eficiencia agronómica de uso del nitrógeno presentó mínimos medios de 15-16 kg grano kg N agregado⁻¹, para las máximas dosis ensayadas, pero una media de 25,4 kg grano kg N agregado⁻¹ para el rango de dosis más probablemente utilizada a nivel comercial (entre 80 y 120 kg N ha⁻¹).

En todos los casos, los mayores rendimientos estuvieron explicados por un mayor número de granos por unidad de superficie, sin cambios mayores en el peso de grano, y existió una relación lineal entre el rendimiento en grano y el rendimiento en aceite, lo que indica que, para el rango de rendimientos explorados, aumentos en el rendimiento generan aumentos de la misma proporción en la cantidad de aceite.

Arreglo espacial en colza-canola

4.1) INTRODUCCIÓN

El arreglo espacial de un cultivo sembrado en líneas se refiere a la densidad de plantas en la línea y su distancia entre filas. Los diferentes arreglos espaciales producidos por los cambios en el espaciamiento de las hileras pueden afectar las relaciones de competencia de recursos tanto en los niveles intra como en los inter-específicos. La densidad de plantas por unidad de superficie y su distribución, representa una medida de producción básica, que interviene en los procesos de formación del rendimiento (Geisler y Stoy, 1987). Las plantas que crecen en hileras demasiado anchas pueden no utilizar eficientemente los recursos naturales como la luz, el agua y los nutrientes, mientras que el crecimiento en hileras demasiado estrechas puede resultar en una severa competencia entre hileras. La competencia intra-específica tiene tres efectos: (i) la mortalidad dependiente de la densidad, (ii) las compensaciones entre el tamaño y la densidad, y (iii) las alteraciones de la estructura de la población. Los dos primeros efectos pueden inferirse por los cambios en los componentes del rendimiento, mientras que la distribución del tamaño de las plantas dentro del cultivo proporciona información sobre la estructura de la población (Kuai et al., 2015).

Los diferentes arreglos espaciales producidos por la calidad de la distribución longitudinal y los cambios en la densidad y el espaciamiento de las hileras determinan la distribución del área, y por lo tanto el espacio disponible para cada planta (Giepentrog, 1999), pudiendo afectar las relaciones de competencia por recursos como agua, luz o nutrientes, tanto en niveles intra-específicos como en los inter-específicos (Kuai et al., 2015). En diversos trabajos y regio-

nes se ha observado que una disminución de la densidad de plantas de colza, determinan que las mismas tienden a ramificarse y de esta manera compensan la falta de plantas (Vujakovic et al., 2015). A su vez, las plantas al estar menos expuestas a la competencia intra-específica desarrollan mayor masa vegetativa y mayor número de estratos de semillas por planta, pero que maduran de manera desigual (Leach et al., 1999). En contraparte, siembras excesivamente densas resultan en la reducción del diámetro del tallo de la planta y tales plantas tienden a volcarse (Vujakovic et al., 2015) y son más susceptibles a las enfermedades y al ataque de plagas (Leach et al., 1999). Todos estos cambios pueden afectar negativamente la calidad y el rendimiento en grano.

En general, en el cultivo de colza, la mayor parte del rendimiento final en grano es aportado por el racimo terminal en el tallo principal y silicuas en las ramas primarias. Las silicuas en ramas secundarias son de menor importancia en la determinación del rendimiento en grano en este cultivo (Sincik et al., 2010). En este sentido el número de silicuas por planta es el más sensible de todos los componentes de rendimiento en el cultivo y está determinada por la supervivencia de las ramas, yemas, flores y silicuas jóvenes en comparación con el número potencial de flores y silicuas (Shahin y Valiollah, 2009).

Uno de los principales aspectos de la ecología de los cultivos, la producción y la gestión que a menudo limitan la producción de los mismos es el espaciamiento inadecuado entre filas. El rendimiento en grano es función de la interacción entre los factores genéticos y ambientales, incluyendo el tipo de suelo, la fecha de siembra y el método, la fertilización y el

riego, entre los cuales el espaciamiento de hileras juega un papel vital en obtener mayor rendimiento (Shahin y Valiollah, 2009). Especialmente para este cultivo, se ha reportado que el rendimiento en grano es una función de la geometría de plantación, pero a su vez, que es muy plástica y ajustable a través de una amplia gama de poblaciones (Waseem et al., 2014).

En general los resultados son consistentes en el hecho que la colza-canola producida en hileras estrechas (~ 0,15 m), generalmente tiene rendimientos superiores cuando las condiciones son favorables (Kuai et al., 2015) y a su vez una mayor sincronización en la floración y madurez en el espaciado de hilera estrecha (0,30 vs. 45 m) (Ozer, 2003). Las hileras estrechas aumentan la intercepción total de luz estacional, hacen un uso más eficiente de la luz disponible y permiten un cierre más rápido del suelo y sombreado de este, mejorando así el control de malezas. El rendimiento de colza-canola típicamente exhibe una respuesta cuadrática a la densidad de plantas, con un aumento casi lineal a través de un rango de densidades bajas, una disminución gradual en la tasa de aumento del rendimiento y finalmente, un rendimiento máximo a la densidad óptima de la planta, que depende de cultivar, condiciones ambientales y factores agronómicos (Kuai et al., 2015). Por último, en general la variación en el espaciamiento, también se correlaciona con la altura de la planta a cosecha, mayores alturas se asocian a espaciamientos estrechos y poblaciones elevadas de siembra (Sincik et al., 2010). La altura excesiva de las plantas afecta el índice de cosecha (Kuai et al., 2015).

El objetivo de esta parte del trabajo fue evaluar el efecto combinado de la población y la distancia entre filas para distintos tipos de cultivares de colza-canola (invernales y primaverales) en situaciones locales de producción.

4.2) MATERIALES Y MÉTODOS

Se sembraron durante tres años (2014-2015-2016) ensayos en el campo experimental de la Estación M.A. Cassinoni en Paysandú (EEMAC) (32°55'S, 58°03'W) y durante la zafra 2014 los ensayos fueron repetidos en el campo experimental de Greising & Elizarrú (G&E) en Colonia Valdense (34°20'S, 57°12'W). Esto determinó un total de 8 ensayos, que incluyeron en cada año 2 materiales de colza, uno invernal (Hyola 830cc) y uno primaveral (Hyola 575 cl) (Cuadro 4.1). Durante la zafra 2016, no fue sembrada la variedad invernal por no contar con disponibilidad de semilla de ese material. En la EEMAC los ensayos fueron sembrados en siembra directa, mientras que en el sitio G&E fueron sembrados bajo un sistema de laboreo convencional.

Cada material fue sembrado en la época que se considera óptima, con variaciones entre años asociadas a las condiciones climáticas al momento de la siembra. Durante la zafra 2014, se realizaron dos fechas de siembra para el material Hyola 575 cl, en la medida que era el primer año experimental y se desconocía hasta el momento la fecha óptima de siembra de estos materiales. Para el caso de material invernal (Hyola 830 cc), fue sembrado la última semana

Cuadro 4.1. Detalle de los experimentos realizados según zafra, ubicación y material.

Sitio	Año	Material	Fecha de siembra
EEMAC	2014	Hyola 830 cc	30 Abril
	2014	Hyola 575 cl	30 Abril
	2014	Hyola 575 cl	7 Junio
G&E	2014	Hyola 830 cc	22 Abril
	2014	Hyola 575 cl	29 Mayo
EEMAC	2015	Hyola 830 cc	22 Abril
	2015	Hyola 575 cl	17 Mayo
EEMAC	2016	Hyola 575 cl	1 Julio

de abril, de forma que pudiera cumplir sus requerimientos de vernalización. Las parcelas tenían un largo de 7 m x 9 surcos cuando la distancia era 0,17/0,19 m y 7 m x 5 surcos cuando la distancia era 0,34/0,38 m.

Para ambos materiales se evaluaron 4 poblaciones objetivo de siembra (30-50-70 y 90 pl m⁻²) y cada una de esas poblaciones estuvo sembrada a dos distancias entre fila, una estrecha (0,17 cm en EEMAC y 0,19 cm en G&E) y una distancia mayor (0,34 cm en EEMAC y 0,38 cm en G&E). En todos los casos el diseño fue de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Para ajustar la cantidad de semilla a utilizar, fue utilizado la germinación de cada lote de semillas y se asumió un porcentaje de implantación del 50%.

Los cultivos se manejaron de forma que los nutrientes no limitaran el rendimiento, para lo cual se agregaron 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 80 kg K₂O ha⁻¹ al momento de la siembra y 140 kg N ha⁻¹ y 18 kg S ha⁻¹ fraccionado 60% al estadio de 2 hojas (B2) y el restante 40% a inicio de elongación (C1). Los ensayos se mantuvieron libres de plagas y malezas, de forma que no interfirieran con los resultados finales.

Al momento de la cosecha fueron contadas las plantas ubicadas en el centro de la parcela en los 5 m centrales. Con el número de plantas presentes y la cantidad de semillas sembradas fue estimada la proporción de implantación a cosecha. Una vez contadas las plantas, fueron cortadas y se contaron la totalidad de las silicuas presentes, lo que permitió estimar la cantidad de silicuas por unidad de superficie. Luego del conteo, la muestra fue secada y posteriormente trillada. Este procedimiento permitió estimar además del rendimiento en grano, la biomasa total acumulada y estimar el índice de cosecha (kg grano kg biomasa aérea total⁻¹). Para estimar el peso de grano, fueron contadas tres repeticiones de 100 granos por parcela. Con el peso de grano y el rendimiento fue estimado el número de granos por silicua y el número de granos por unidad de superficie. Por último, fue evaluado el % de materia grasa (%MG) utilizando el método Soxhlet, expresando los resultados en base seca.

Para el análisis estadístico se realizaron regresiones entre la población y las distintas

variables de respuesta, separando por distancia entre filas. A su vez, fueron realizadas regresiones entre diferentes componentes del rendimiento. Todas estas regresiones fueron analizadas a partir de análisis de varianza de la regresión. A su vez se realizaron análisis de varianza para evaluar la distancia entre filas usando la población como co-variable. A su vez, el porcentaje de implantación fue analizado con un análisis de varianza, utilizando como variables la zafra, la población objetivo, la distancia entre filas y sus interacciones. Para la separación de medias fue utilizado el procedimiento de mínimas diferencias significativas (MDS). En muchos casos, se relativizaron los rendimientos de cada ensayo a la media del ensayo (rendimiento relativo) lo cual permite analizar todos los ensayos en conjunto.

4.3) RESULTADOS

4.3.1- Implantación

La proporción de implantación fue muy variable entre años, sitios experimentales y material evaluado (entre 2 y 95%), pero en términos medios fue de 32%, un valor muy bajo y por debajo de lo utilizado para el cálculo de semillas en estos experimentos (Figura 4.1). No se observaron mejoras sustanciales cuando se compara los sitios experimentales en la zafra que puede ser comparada (2014), a pesar de los diferentes sistemas de siembra utilizado (siembra directa en EEMAC y laboreo en G&E). No obstante, en general, la proporción de semillas que se implantaron mejoran al disminuir la población objetivo (P<0,0012), la distancia entre filas (P<0,0004), sin efecto de la interacción entre la población objetivo y la distancia entre filas (P<0,3805) (Figura 4.1).

En términos medios la proporción de semillas que se implantaron aumentó 10% al disminuir la distancia entre filas y pasó de una media de 20% a 45% al cambiar la población objetivo de 90 a 30 pl m⁻² (Figura 4.2), lo que indica que aumentar la densidad de semillas sembradas tiene un efecto marginal en la población lograda, ya que disminuye la proporción de semillas implantadas.

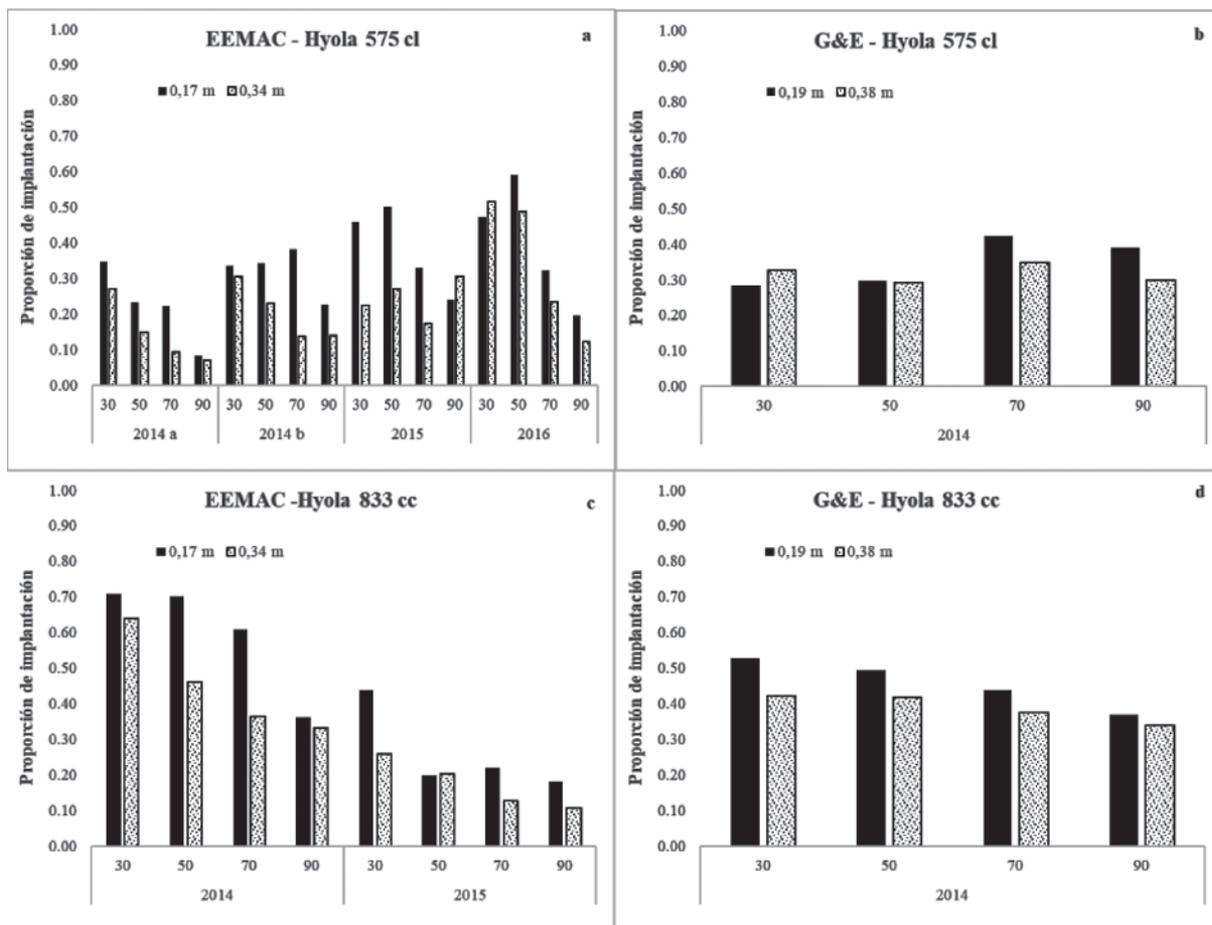


Figura 4.1. Proporción de implantación según año de evaluación, cultivar y sitio experimental. a) Sitio EEMAC, material Hyola 575 cl durante las zafras 2014 a 2016; b) Sitio G&E, material Hyola 575 cl durante las zafras 2014; c) Sitio EEMAC, material Hyola 833 cc durante las zafras 2014 y 2015; d) Sitio G&E, material Hyola 833 cc durante la zafra 2014.

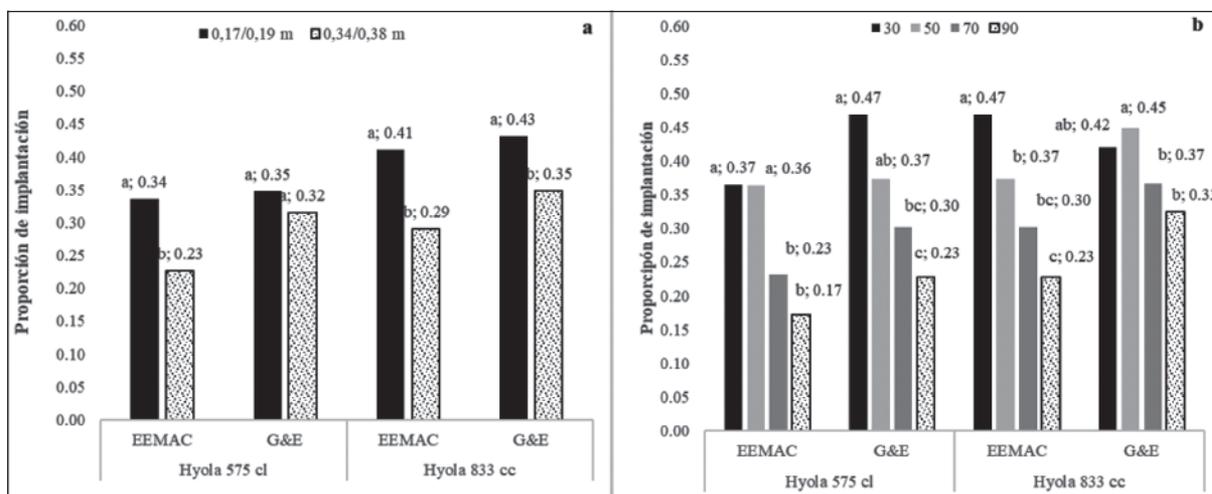


Figura 4.2. Proporción de implantación sitio experimental y cultivar, en función de a) la distancia entre filas y b) la población objetivo. Medias con una letra en común dentro de cada cultivar y sitio experimental no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)

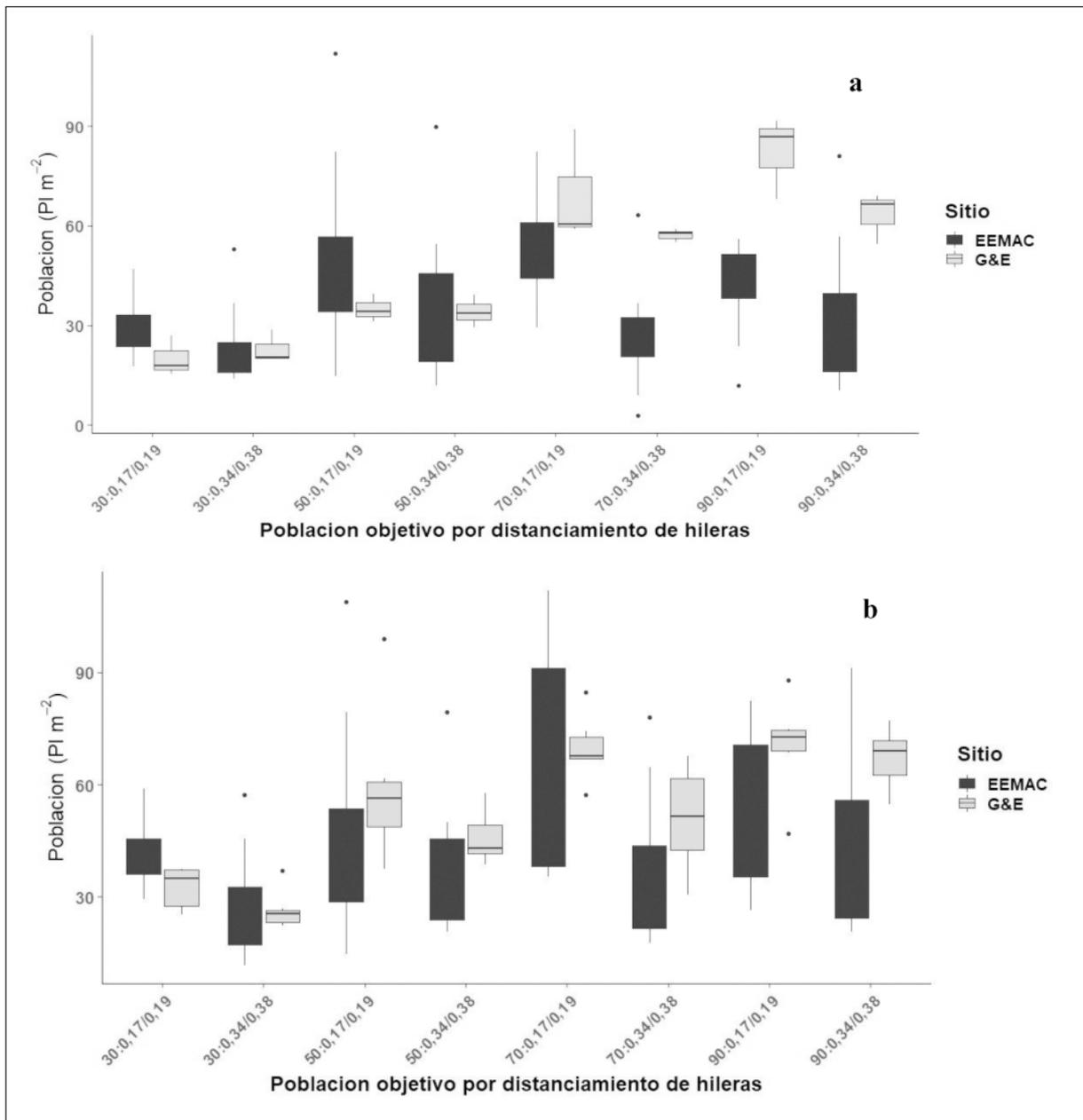


Figura 4.3. Relación entre la población objetivo y la población lograda según distancia entre filas y cultivar, a) Hyola 575 cl, b) Hyola 833 cc.

En general la población lograda tuvo escasa relación con la población objetivo, principalmente a poblaciones objetivos mayores a las 50 pl m⁻², dónde la variabilidad en la población a cosecha fue extremadamente variable, aunque se observa claramente como las distancias entre filas menores tienen mayor población, especialmente cuando la población objetivo es alta (Figura 4.3). Estos resultados muestran la dificultad de lograr altas poblaciones cuando se utilizan distancia entre fila mayores.

4.3.3- Rendimiento según población y distancia entre filas

A pesar de las diferencias encontradas en las poblaciones alcanzadas en ambos materiales y sitios, no fue posible encontrar ninguna tendencia en la relación entre población a cosecha y el rendimiento (Figura 4.4). No se encontraron cambios en el rendimiento en un amplio rango de poblaciones, lo que determina que en ausencia de zonas sin plantas como puede

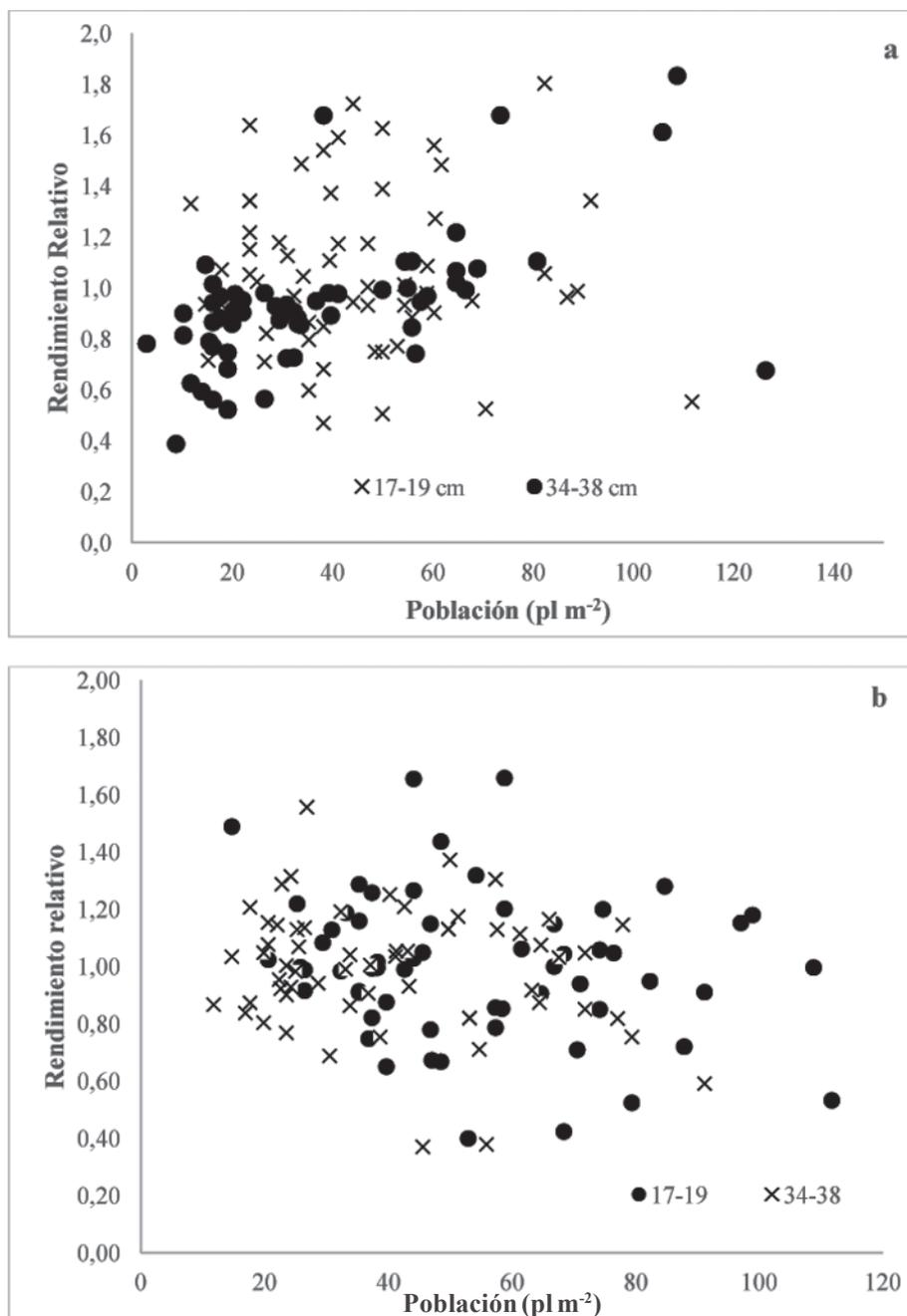


Figura 4.4. Relación entre la población a cosecha y el rendimiento relativo según distancia entre filas y material, a) Hyola 575 cl y b) Hyola 833 cc.

ocurrir a nivel comercial y una distribución uniforme de plantas en la fila, la población no parece ser un determinante mayor del rendimiento.

En contraparte, se encontró una fuerte asociación entre el rendimiento y la distancia entre

filas, en 6 de 8 experimentos estas diferencias fueron significativas, en dónde la menor distancia entre filas presentó aumentos de rendimientos entre un 8 y 67%, lo que indica que esta es una práctica de alto impacto para lograr altos rendimientos en el cultivo de colza-canola (Figura 4.5)

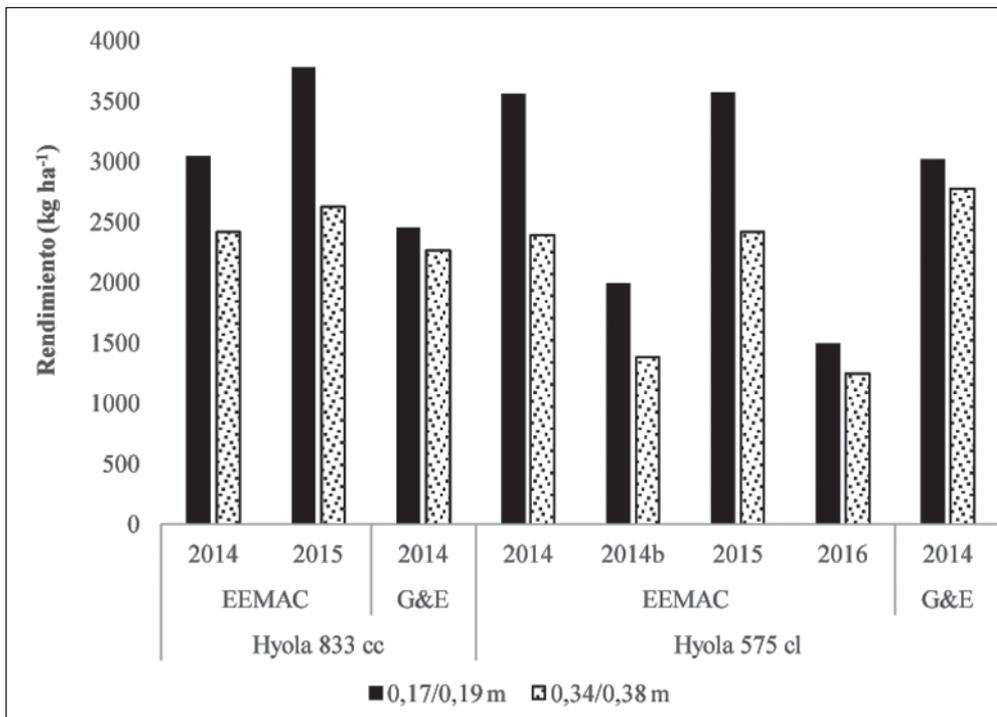


Figura 4.5. Rendimiento según distancia entre filas separado por zafra, sitio experimental y material. Medias con una letra en común dentro de cada ensayo no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)

4.3.3- Componentes del rendimiento

Si bien fueron analizados todos los componentes del rendimiento, en general no se logró asociar cambios en los componentes de rendimiento en función de la población y/o la distancia entre filas. En general, el rendimiento está explicado mayormente por el número de granos, con escasa variación en el peso de grano

(Figura 4.6). A su vez, hay una fuerte asociación entre el número de granos y el número de silicuas por unidad de superficie ($R^2 = 0.7$; $P < 0.002$) y escasa asociación entre el número de granos por silicua (18 y 21 granos por silicua para el material Hyola 575cl y Hyola 833cc respectivamente) y el resto de los componentes de rendimiento.

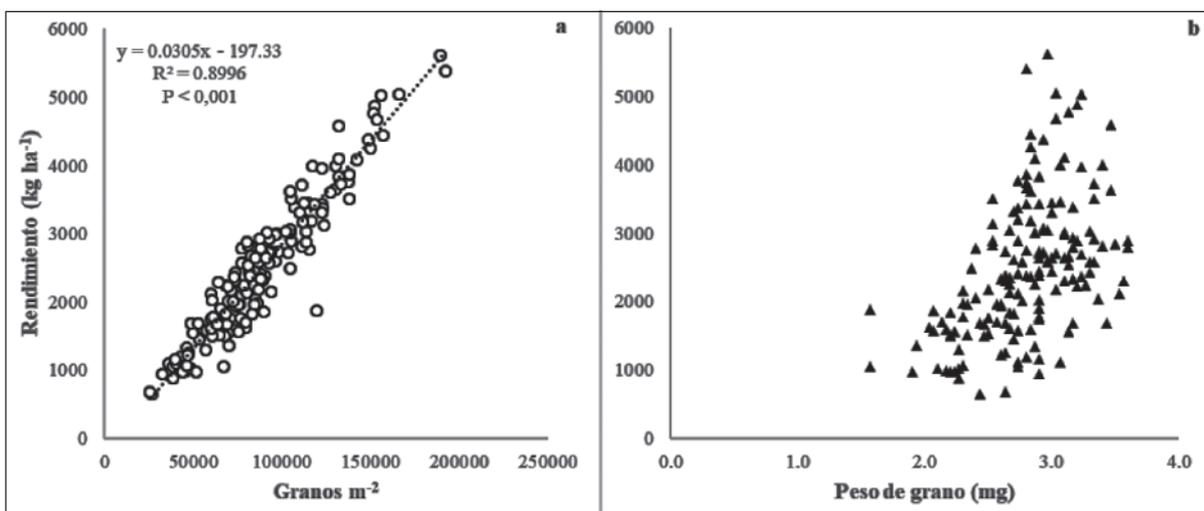


Figura 4.6. Rendimiento en grano en función del número (a) y peso de granos (b).

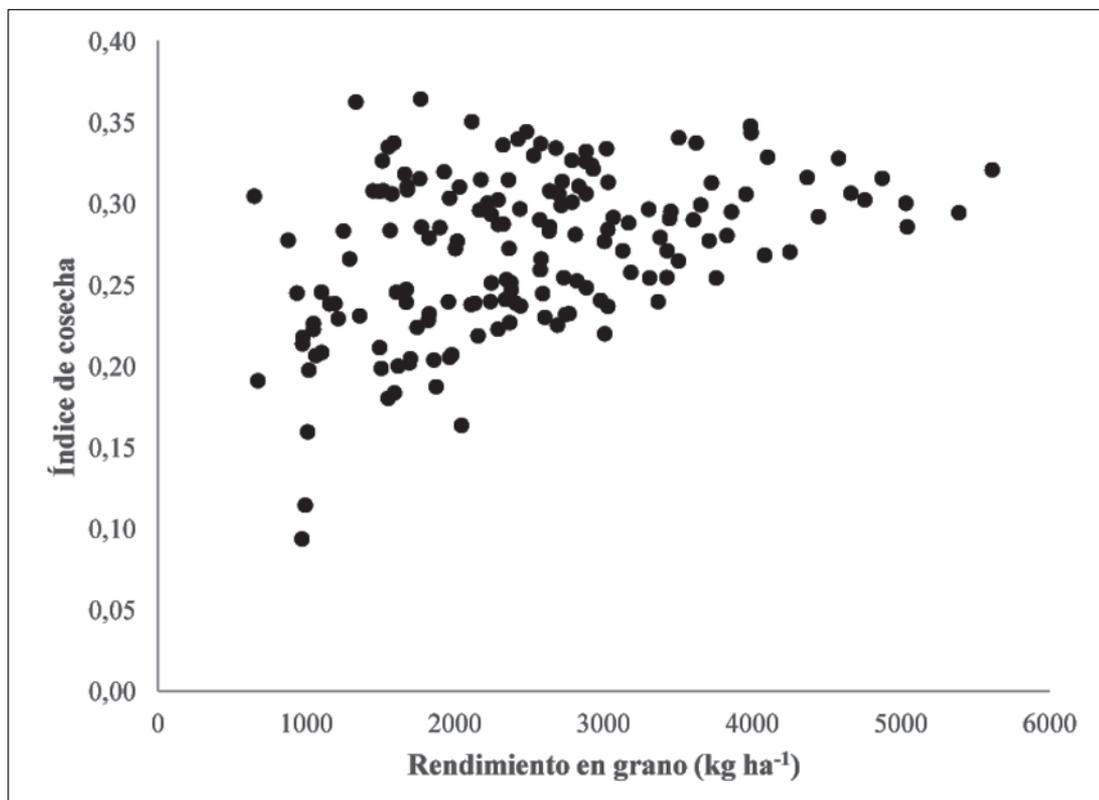


Figura 4.7. Rendimiento en grano en función del índice de cosecha.

Pero el componente que es interesante evaluar en este grupo de ensayos, a pesar de que no existió asociación con las variables de respuesta estudiadas (población y distancia entre filas), es la relación entre el rendimiento en grano y el índice de cosecha (Figura 4.7). Esta relación, muestra claramente como el cultivo define su rendimiento, estabilizando el índice de cosecha. Cuando los rendimientos son mayores 2000-2500 kg ha⁻¹, el índice tiene al máximo reportado para la especie, y aumenta de forma notoria la variabilidad con rendimientos menores, lo que indica que bajo escenarios de bajo potencial (en el caso del experimento asociado a condiciones ambientales y fecha de siembra), la proporción de biomasa que es fijada como grano disminuye.

4.4) CONCLUSIONES

Los resultados muestran que los niveles de implantación fueron bajos, con relación a lo esperado para otros cultivos, y que estos mejoran al disminuir la distancia entre filas y la cantidad de semillas sembradas. Para las condiciones experimentales y poblaciones uniformemente distribuidas no pudieron detectarse cambios en el rendimiento ni en alguno de sus componentes en un amplio rango de poblaciones. No obstante, se encontró un fuerte efecto de la distancia entre fila, con aumentos medios de 30% en el rendimiento por sembrar hileras más estrechas.

Fecha de siembra en colza-canola

5.1) INTRODUCCIÓN

La fecha de siembra de cualquier cultivo es una de las prácticas de manejo sin costo, más determinante, ya que permite conjugar la oferta ambiental con los requerimientos de los cultivos. Para el caso de colza-canola existen pocos antecedentes locales que permitan determinar *a priori* la mejor época de siembra para los distintos tipos de cultivos (invernales y primaverales) y largo de ciclo. Los trabajos regionales y locales llevados a cabo en el pasado indicaban como las mejores fechas el periodo mayo-junio como las más ajustadas (Castiglioni 1987; Pascale, 1993; Valetti, 1996), pero no existen nuevos reportes locales que estudien las interacciones con un grupo de cultivares actuales (salvo la evaluación nacional de cultivares que se realizaba en dos fechas de siembra entre los años 2007 y 2011) y que tengan en cuenta no sólo el rendimiento y calidad del grano cosechado sino la fecha de cosecha lo que es vital en planteos de dos cultivos por año. Además, es importante estudiar el efecto de la fecha de siembra sobre los cambios en la duración del ciclo del cultivo y su impacto en el rendimiento y componentes, así como la exposición a heladas.

Los factores que afectan en mayor medida el desarrollo del cultivo son la temperatura y el fotoperiodo y para los cultivares invernales la vernalización (Scarisbrick y Daniels, 1986). La temperatura del aire es el factor climático que más influye en la fenología y desarrollo de las plantas. El desarrollo fenológico del cultivo de colza-canola tiene una respuesta universal a la temperatura, esto significa que todos los cultivares y todos los períodos de desarrollo son sensibles a la temperatura. Esta respuesta

universal es la responsable de la aceleración del desarrollo cuando las plantas son expuestas a temperaturas más elevadas, por lo que la duración de cualquier etapa de desarrollo transcurre más rápidamente (Schwab, 2010). El largo del ciclo se puede ver afectado por temperaturas del aire por debajo y/o por encima de los límites críticos del cultivo, pudiendo causar cambios en la duración de los subperíodos de desarrollo de las plantas y en el ciclo total del mismo (Fochesatto et al., 2014). De acuerdo con la respuesta que presenta frente a la duración del día, la colza es una especie cuantitativa de día largo, es decir la floración se acelera a medida que el cultivo es expuesto a días más largos (Schwab, 2010).

Los cultivares de tipo invernal exigen la acumulación de bajas temperaturas para poder florecer. La floración se produce cuando durante el crecimiento vegetativo se acumula una determinada cantidad de horas frío, esta cantidad es variable según el cultivar, ya que existen materiales con alto y bajo requerimiento de temperatura. Por otro lado, los cultivares primaverales generalmente no requieren de este estímulo (Gómez, 2007; Schwab, 2010). Los requerimientos de vernalización varían entre cultivares, e incluso en Argentina se han observado ciertos requerimientos de vernalización en algunos cultivares primaverales. Por su parte, Agosti (2011), encontró que los genotipos invernales sembrados tempranamente prolongaron 20-30 días su etapa vegetativa por falta de temperaturas bajas para cubrir los requerimientos de vernalización, provocando que la etapa de post floración coincidiera con temperaturas medias elevadas (20,2-21,5 °C) que se asociaron con menores rendimientos.

El objetivo de este trabajo es determinar el impacto de la fecha de siembra sobre el rendimiento en grano, sus componentes y el rendimiento de aceite en el cultivo de colza-canola.

5.2) MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos propuestos se sembraron durante dos zafra (2014 y 2015) ensayos en el campo experimental de Greising & Elizarzú (G&E) en Colonia Valdense (34°20'S, 57°12'W) y por tres zafra (201-2015-2016) en el campo experimental de la Estación M.A Cassinoni (EEMAC) en Paysandú (32°55'S, 58°03'W). En la EEMAC se sembraron 4 fechas de siembra durante la zafra 2014 y 5 fechas de siembra las zafra 2015 y 2016. Por su parte en el campo experimental de G&E se llevaron a cabo 3 fechas de siembra cada año. Esto determinó que se sembraran un total de 20 ensayos (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Detalle de los experimentos realizados según zafra y ubicación.

Sitio	Año	Fecha siembra
EEMAC	2014	23-Abr
		29-May
		25-Jun
		8-Ago
	2015	16-Abr
		8-May
		10-Jun
		16-Jul
		15-Set
	2016	12-May
		1-Jun
		24-Jun
3-Ago		
G&E	2014	22-Abr
		29-May
		1-Jul
	2015	20-Abr
		20-May
		18-Jun

En todos los casos el diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas tenían un largo de 7 m x 9 surcos cuando y la distancia entre filas fue de 0,17 m en la EEMAC y 0,19 m en G&E. Se utilizaron 4 materiales de colza en cada uno de los ensayos, de los cuáles uno era invernal (Hyola 830cc), y los restantes tres primaverales, de los cuáles había 2 híbridos (Hyola 50 y Hyola 575 cl) y una variedad de polinización abierta ampliamente difundida a nivel local (Rivette). Los ensayos de mantuvieron libres de plagas y enfermedades de forma que no interfirieran con los resultados y fueron fertilizados de forma que no existieran limitantes de nutrientes. Para asegurar el aporte de nutrientes, se agregaron 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 80 kg K₂O ha⁻¹ al momento de la siembra y 140 kg N ha⁻¹ y 18 kg S ha⁻¹ fraccionado 60% al estadio de 2 hojas (B2) y el restante 40% a inicio de elongación (C1). La población objetivo fue de 60 pl m⁻², para lo cual el ajuste de la semilla a sembrar se hizo considerando la germinación de cada lote de semillas y se asumió un porcentaje de implantación del 50%.

Para los ensayos llevados adelante en la EEMAC, se evaluó semanalmente la fenología de forma de que se pudieran asociar las condiciones climáticas en los distintos estadios con los rendimientos y para los ensayos llevados a cabo en G&E sólo fue evaluado el momento de floración y cosecha.

Al momento de la cosecha fueron contadas las plantas ubicadas en el centro de la parcela en dos surcos de los 4 m centrales para estimar la población a cosecha. Una vez que las plantas fueron contadas, las mismas se cortaron al ras del suelo y en se contaron la totalidad de las silicuas presentes, lo que permitió estimar la cantidad de silicuas por unidad de superficie. Luego del conteo, la muestra fue secada y posteriormente trillada. Este procedimiento permitió estimar además del rendimiento en grano, la biomasa total acumulada y estimar el índice de cosecha (kg grano kg biomasa aérea total⁻¹). Para estimar el peso de grano, fueron contadas tres repeticiones de 100 granos por parcela. Con el peso de grano y el rendimiento fue estimado el número de granos por silicua y el número de granos por unidad de superficie. Por último, fue evaluado el porcentaje de mate-

ria grasa (%MG) utilizando el método Soxhlet, expresando los resultados en base seca.

Para el análisis estadístico se realizaron regresiones entre la fecha de siembra y el rendimiento en grano y las distintas variables estudiadas, para algunos análisis, se relativizaron los rendimientos de cada ensayo a la media de año de estudio (rendimiento relativo) lo cual permite analizar todos los ensayos en conjunto sin considerar el efecto año. A su vez, fueron realizadas regresiones entre diferentes componentes del rendimiento. Todas estas regresiones fueron analizadas a partir de análisis de varianza de la regresión. A su vez se realizaron análisis de varianza para evaluar el efecto del cultivar, la localidad y la fecha de siembra, utilizando la población a cosecha como covariable. En estos casos se utilizaron rango de fecha de siembra para utilizar la variable como una variable discreta. Para la separación de medias fue utilizado el procedimiento de mínimas diferencias significativas (MDS).

5.3) RESULTADOS

5.3.1- Rendimiento en grano y aceite en función de la fecha de siembra

Cuando se analizan todos los ensayos en conjunto (Figura 5.1), se observa que existió un amplio rango de fechas de siembra en donde los rendimientos no se modificaron mayormente consecuencia del cambio en la fecha de siembra. Para todos los materiales primaverales, en general se observa que los rendimientos pueden ser máximos entre las siembras de abril y las de fines de junio. A partir de fines de junio no solo los rendimientos máximos disminuyen, sino que también aumentan la cantidad de sitios con rendimientos bajos (menos del 0,5 de rendimiento relativo). No obstante, para el material invernal evaluado (Hyola 830 cc) la caída en rendimientos ocurre a partir de las siembras de fines de mayo.

Cuando para los materiales primaverales se evaluaron los rendimientos relativos, pero separados en décadas (Figura 5.2), la tendencia en la misma que la observada anteriormente, pero la siembras entre fines de abril hasta el 20 de

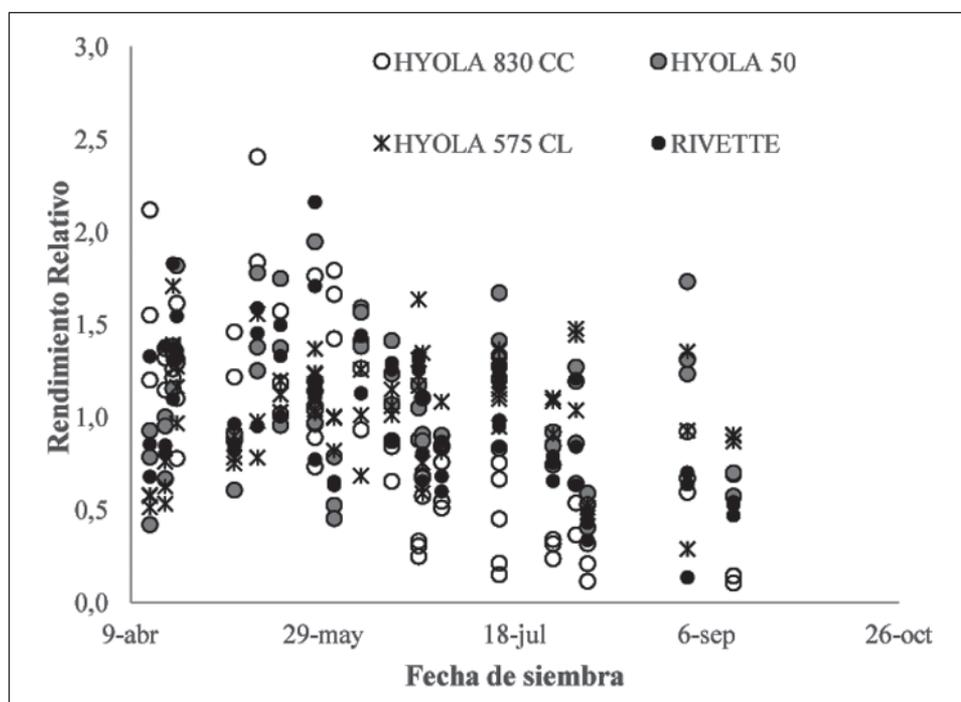


Figura 5.1. Rendimiento relativo al año según fecha de siembra y material evaluado.

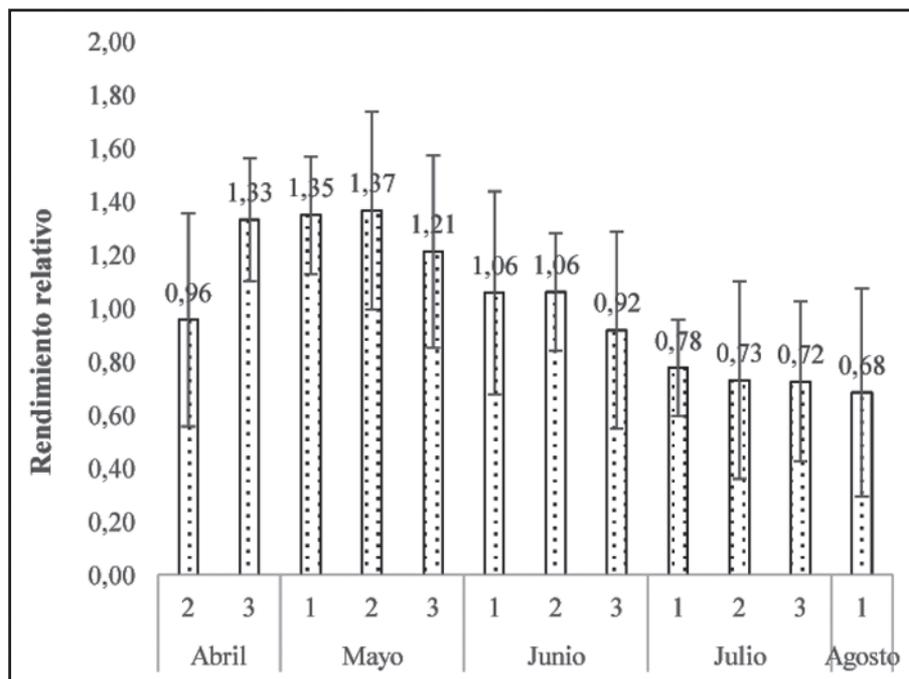


Figura 5.2. Rendimiento relativo al año según década de siembra para los materiales primaverales evaluados en el periodo 2014 a 2016. Barras de error indican el error estándar.

mayo logran los mayores rendimientos medios, aun cuando, como se mostrará más adelante esas fechas de siembra presentan alto riesgo de heladas en floración y llenado de grano, situación que no sucedió en ninguno de los años de evaluación.

En la medida que el rendimiento comercial de este cultivo depende del rendimiento en

aceite, en general se observó una relación lineal entre el rendimiento en grano y el rendimiento en aceite, lo que implica que a priori las mejoras en rendimiento son acompañadas por mejoras en la producción de aceite en grano (Figura 5.3a), no obstante, para el cultivar invernal (Hyola 833 cc) de ciclo más largo (ver Figura 5.5), las siembras más tardías implicaron caí-

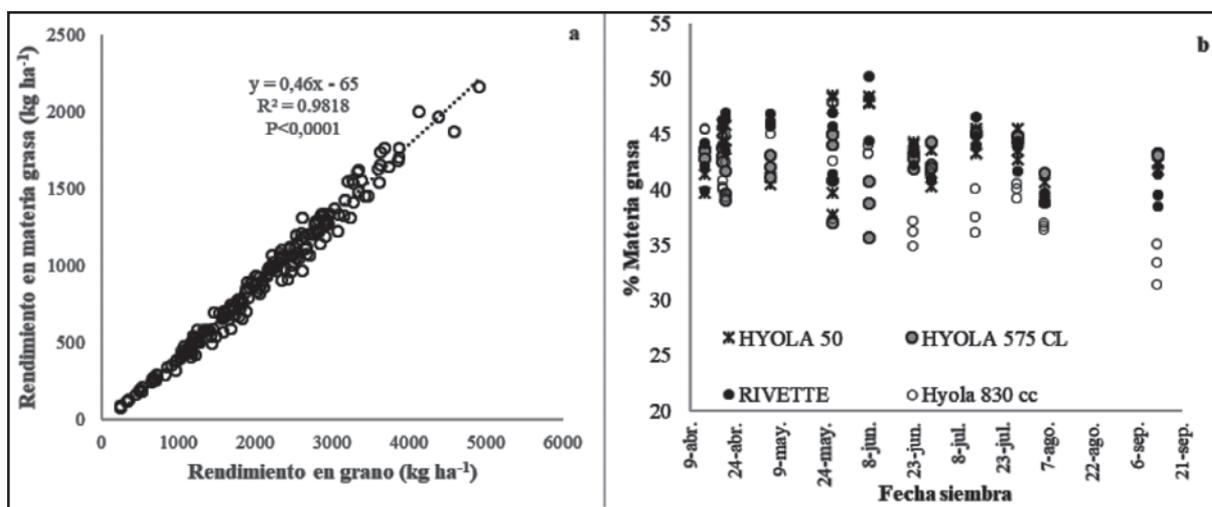


Figura 5.3. a) Relación entre el rendimiento en grano y el rendimiento en materia grasa para la totalidad de los materiales y fechas de siembra estudiados. b) Concentración de materia grasa en grano según material y fecha de siembra.

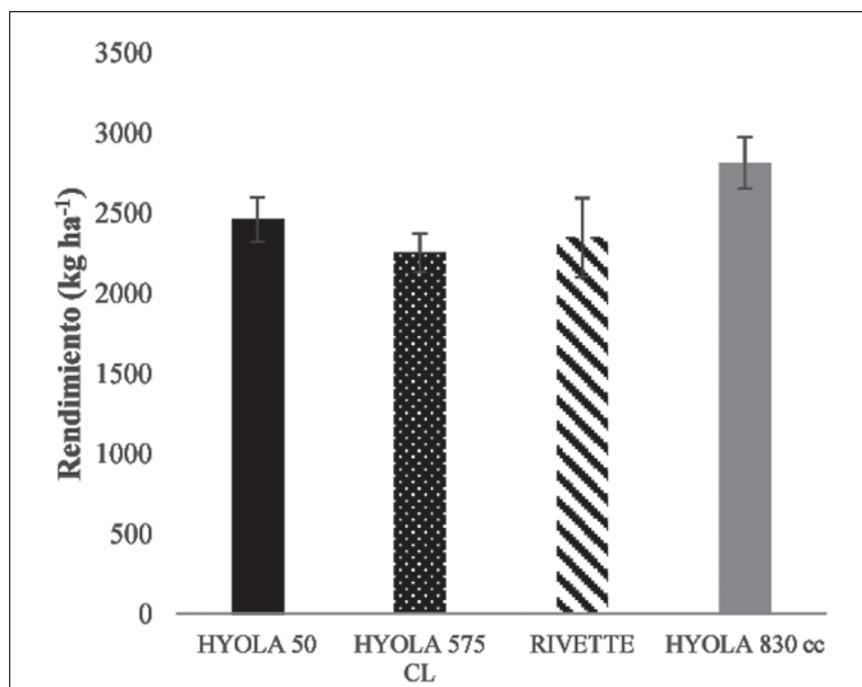


Figura 5.4. Rendimiento en grano medio según material, considerando únicamente el periodo de siembra en el que maximizan los rendimientos. Barras de error indican el error estándar. Medias con una letra en común dentro de cada ensayo no son significativamente diferentes ($P > 0,05$)

das en los niveles de aceite en grano (Figura 5.3b), asociados a períodos de llenado de grano a mayor temperatura (Puhl et al., 2019; Takashima et al., 2013).

Desde el punto de vista de los materiales, al comparar el rendimiento medio para todo el periodo, pero sólo considerando las fechas de siembras que maximizaron los rendimientos de cada material (tercera década de abril, hasta fin de junio para materiales primaverales y primera década de abril hasta la segunda década de mayo para invernales) se observa que el material invernal se diferenció de los primaverales (Figura 5.4), aunque con una menor ventana de siembra y una fecha de cosecha más tardía en el tiempo (Ver sección 5.3.2) (Takashima et al., 2013).

5.3.2- Ciclo de los cultivos y exposición a heladas

Se observaron escasas diferencias en el ciclo de los materiales primaverales evaluados, las principales diferencias encontradas se dan entre el cultivar invernal y el resto de los cultivares (Figura 5.5). Para el caso del cultivar inver-

nal evaluado (Exp 119- Hyola 830 cc), en las fechas tardías no solo disminuye notoriamente su rendimiento (Figura 5.1) sino que una menor proporción de plantas llega a floración y para las fechas de fin de julio/agosto, no fue posible estimar una fecha de floración, porque florecieron una proporción menor al 50% de las plantas que es cuando se define que un cultivo está en el estadio de floración.

Si se considera el 15 de setiembre una fecha a partir de la cual el riesgo de heladas disminuye (no desaparece) (INIA-GRAS) (<http://www.inia.uy/GRAS>), para el caso de cultivar invernal, solo existió riesgo moderado en la fecha de abril en la primera etapa de floración, pero queda afuera de riesgo todo el periodo crítico de determinación de rendimiento (Kirkegaard et al., 2018) lo que implica que el riesgo de heladas asociado a este tipo de materiales (invernales) es muy bajo.

Para el caso de los materiales primaverales, dado su corto ciclo, la complejidad para ubicar periodos libres de heladas es mayor, ya que las siembras tempranas exponen el cultivo a heladas en el periodo de floración y llenado de grano y las siembras tardías exponen al cultivo a riesgo de heladas en implantación (Figura 5.6).

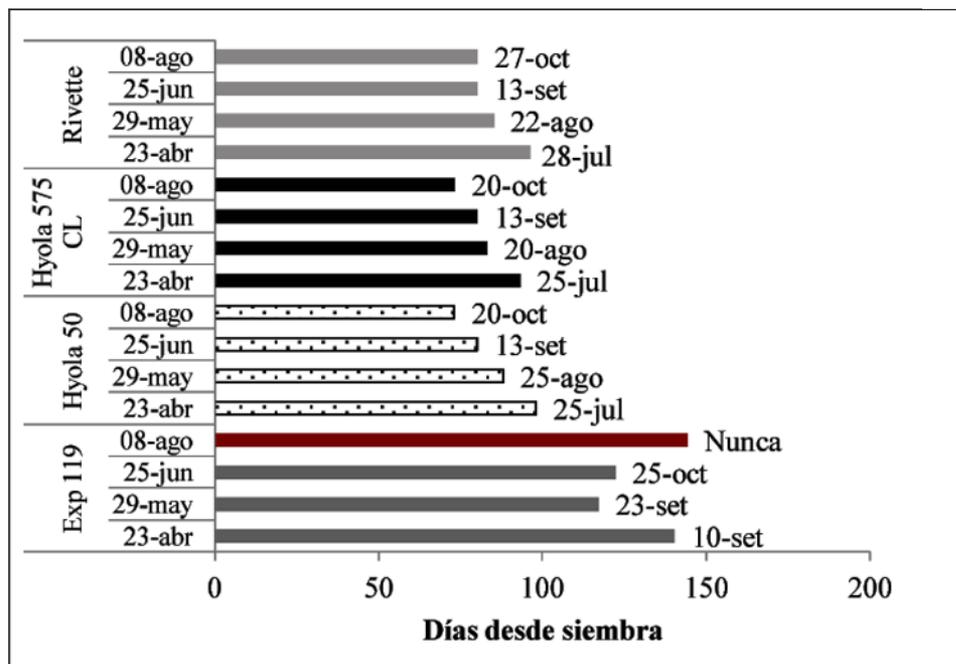


Figura 5.5. Días desde siembra a floración según cultivar y fecha de siembra para la zafra 2016 en el sitio EEMAC.

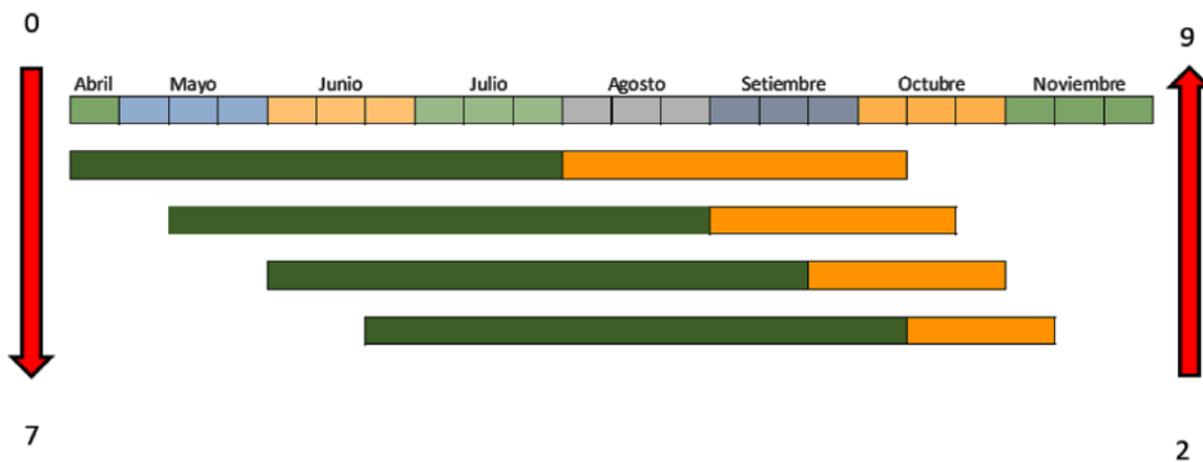


Figura 5.6. Esquema de riesgo de heladas (Los números indican el número de heladas para el percentil 50) para los materiales primaverales estudiados según fecha de siembra y momento. Verde: Periodo siembra-floración.

Para el caso del ensayo, no detectamos en los tres años de evaluación daños de heladas en ningún periodo. Para el momento de implantación, la ausencia de daños puede estar explicada por la ubicación topográfica de los ensayos y por la ausencia de rastros de cultivos anteriores en superficie, ambos factores que dismi-

nuyen el impacto de las heladas. Por otra parte, en el periodo de evaluación no se registraron periodos importantes con heladas durante la floración y el llenado de granos, factor para tener en cuenta al analizar los resultados asociados a los rendimientos en función de la fecha de siembra en este grupo de ensayos.

5.3.3- Efectos de las condiciones ambientales sobre el rendimiento en grano y sus componentes

Para los cultivares primaverales, fue posible encontrar asociaciones entre la fecha de floración y el rendimiento en grano, así como sus componentes del rendimiento (Figura 5.7). En ausencia de heladas, adelantos en la fecha de floración determinaron mejoras en los rendimientos alcanzados (Figura 5.7a), lo cual estuvo mayormente determinado por una mayor fijación de silicuas (Figura 5.7b).

Estos cambios en el rendimiento, consecuencia de fechas de floración más tempranas (en ausencia de heladas) están explicados por la asociación entre la temperatura media en el periodo crítico de determinación de rendimiento (Kirkegaard et al., 2018) y el rendimiento en grano, en la medida que en el rango explorado en las condiciones locales, menores temperaturas medias y mínimas maximizaron los rendimientos (Figura 5.8) lo cual está en línea con la información previamente publicada a nivel global (Herbek y Murdock 2001; Stone, 1994).

5.4) CONCLUSIONES

En un periodo con escasos registros de heladas durante el periodo de floración y llenado de grano (2014-2016), los rendimientos para

materiales primaverales se maximizaron en siembras entre la tercera década de abril y fin de junio y para materiales invernales entre la primera década de abril y la segunda década de mayo. En esta ventana de siembra, el material invernal tuvo mayores rendimientos medios que todos los materiales primaverales ensayados (20%) y estos últimos no se diferenciaron en el largo de ciclo.

Desde el punto de vista de riesgo de heladas, los materiales invernales no presentaron mayores riesgos en todas las fechas de siembra, aunque fechas posteriores al mes de junio determinaron riesgo de no floración o al menos que no todas las plantas desarrollen estados reproductivos al no cubrirse los requerimientos de frío. Para el caso de los materiales primaverales, dado su largo de ciclo, no es posible escapar de las heladas tempranas y tardías, ya que en la medida que se atrasó la fecha de siembra se disminuye el riesgo de heladas en floración y llenado de grano, pero se aumentan los riesgos en floración. Los mayores rendimientos asociados a fechas de floración tempranas están determinados por menores temperaturas medias de esa fase que es coincidente con el periodo crítico de determinación de rendimientos.

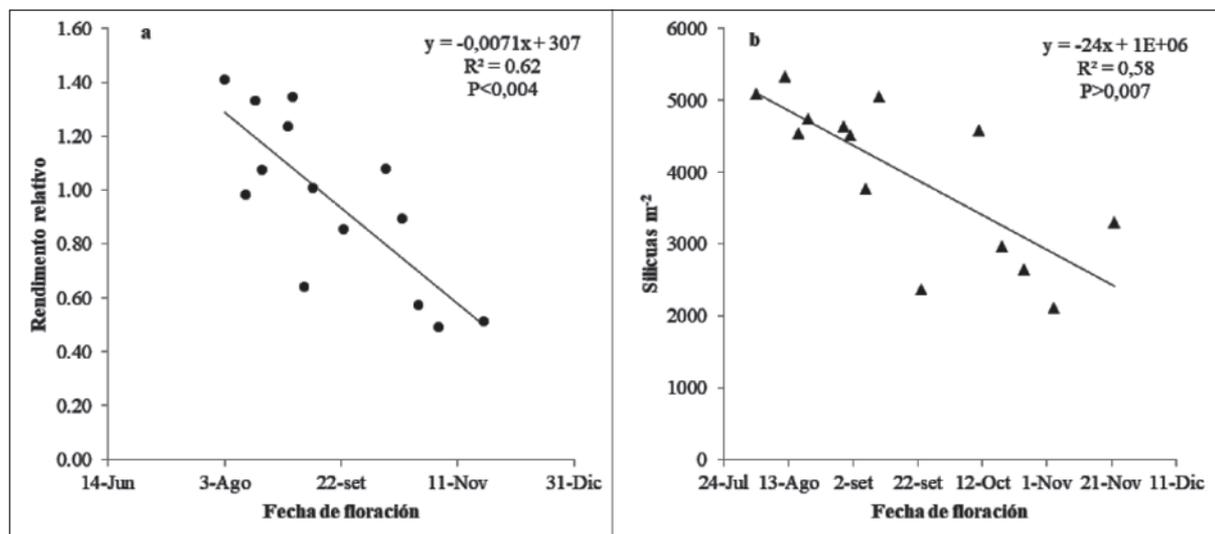


Figura 5.7. a) Rendimiento relativo en función de la fecha de inicio de floración para materiales primaverales; b) Silicuas por unidad de superficie según fecha de floración para materiales primaverales.

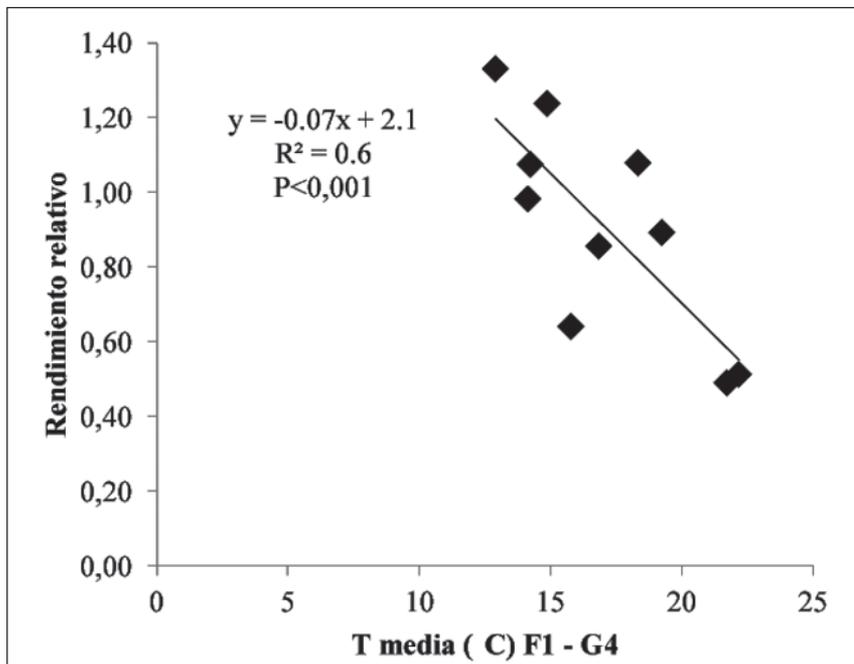


Figura 5.8. Rendimiento relativo en función de la temperatura media en el periodo inicio de floración y fin de llenado de grano (F1-G4)

6. Comentarios finales

La ejecución de este proyecto permitió actualizar la información disponible sobre el manejo de cultivo de colza-canola a nivel local. Los resultados pueden ser utilizados para mejorar el manejo de cultivos a nivel comercial, así como para dar sustento a medidas de manejo que ya se están llevando adelante. Desde el punto de vista de la investigación, los resultados sirven de línea base para ejecutar proyectos más específicos en las distintas temáticas abordadas parcialmente en este proyecto.

Los resultados generales permitieron evaluar el impacto de la fecha de siembra, tanto desde el punto de vista del rendimiento, como del punto de vista de riego de heladas, y se pudo hacer disponible para los técnicos las distintas duraciones del ciclo del cultivo en función de la

fecha de siembra. A su vez, se determinó un amplio rango de poblaciones que pudo maximizar los rendimientos y una importante respuesta en rendimiento por el uso de distancias entre filas más estrechas. Por último, fue posible evaluar el modelo de fertilización actualmente propuesto el cual sirve para evaluar el estado nutricional a inicio de elongación, y reafirma las recomendaciones realizadas previamente para el manejo de la fertilización previo a este estadio.

Para la correcta ejecución de este proyecto, además de la financiación aportada por INIA, fue relevante el aporte de diversos investigadores y técnicos asociados al cultivo, así como el apoyo de diversos productores para ejecutar los trabajos en predios comerciales.

- Agosti, M.B., 2007. Fertilización nitrógeno-azufre y variabilidad genotípica en el rendimiento y la calidad de granos en colza-canola *Brassica napus* L. "; Repositorio | FAUBA | Agosti Maria Belen "; Fertilización nitr.
- Andrade, J.F., Poggio, S.L., Ermácora, M., Satorre, E.H., 2015. Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. *Eur. J. Agron.* 67, 37–51. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.03.001>
- Andrade, J.F., Satorre, E.H., 2015. Single and double crop systems in the Argentine Pampas: Environmental determinants of annual grain yield. *F. Crop. Res.* 177, 137–147. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.008>
- Angadi, S. V., Cutforth, H.W., McConkey, B.G., Gan, Y., 2003. Yield Adjustment by Canola Grown at Different Plant Populations under Semiarid Conditions. *Crop Sci.* 43, 1358–1366.
- Angus, J.F., Kirkegaard, J.A., Hunt, J.R., Ryan, M.H., Ohlander, L., Peoples, M.B., 2015. Break crops and rotations for wheat. *Crop Pasture Sci.* 66, 523–552. <https://doi.org/10.1071/CP14252>
- Ashraf, M., Mehmood, S., 1990. Effects of Waterlogging on Growth and Some Physiological-Parameters of 4 Brassica Species. *Plant Soil* 121, 203–209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00012313>
- Baeza, S., Baldassini, P., Bagnato, C., Pinto, P., Paruelo, J.M., 2014. Caracterización del uso / cobertura del suelo en Uruguay a partir de series temporales de imágenes MODIS Land Use / Land Cover Classification in Uruguay Using Time Series of MODIS Images. *Agrociencia Uruguay* 18, 95–105.
- Bailey, K.L., Gossen, B.D., Lafond, G.P., Watson, P.R., Derksen, D.A., 2001. Effect of tillage and crop rotation on root and foliar diseases of wheat and pea in Saskatchewan from 1991 to 1998: Univariate and multivariate analyses. *Can. J. Plant Sci.* 81, 789–803. <https://doi.org/10.4141/P00-152>
- Castiglioni, E. 1987. Adaptación del cultivo de colza en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Universidad de la República. Facultad de Agronomía, Uruguay. 147p
- Carignano, M., Staggenborg, S.A., Shroyer, J.P., 2008. Management practices to minimize tan spot in a continuous wheat rotation. *Agron. J.* 100, 145–153. <https://doi.org/https://doi:10.2134/agronj2007.0092>
- Caviglia, O.P., Sadras, V.O., Andrade, F.H., 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *F. Crop. Res.* 87, 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.10.002>
- Chan, K.Y., Heenan, D.P., 1996. The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. *Soil Tillage Res.* 37, 113–125. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01008-2](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(96)01008-2)
- Cheng, Y., Gu, M., Cong, Y., Zou, C.S., Zhang, X.K., Wang, H.Z., 2010. Combining ability and genetic effects of germination traits of *Brassica napus* L. Under waterlogging stress condition. *Agric. Sci. China* 9, 951–957. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60176-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60176-0)
- Ciampitti, I.A., García, F.O., 2007. Requerimientos Nutricionales Absorción y Extracción de Macronutrientes y Nutrientes secundarios II. Hortalizas, Frutales y Forrajeras. *Arch. Agronómico - IPNI* 12, 1–4.
- Colnenne, C., Meynard, J.M., Reau, R., Justes, E., Merrien, A., 1998. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. *Ann. Bot.* 81, 311–317. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0557>
- Correndo, A., García, F., 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico. *Arch. Agronómico - IPNI* 14, 1–8.
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2017. Anuario estadístico agropecuario. <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/diea-anuario2017web01a.pdf> (accessed 20 Feb. 2019).

- de San Celedonio, R.P., Abeledo, L.G., Miralles, D.J., 2018. Physiological traits associated with reductions in grain number in wheat and barley under waterlogging. *Plant Soil* 419, 469–481. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3708-4>
- de San Celedonio, R.P., Slafer, G.A., Abeledo, L.G., Miralles, D.J., 2014. Riesgo de anegamiento en trigo (*Triticum aestivum* L) para distintas localidades de la región triguera Argentina. *Cienc. del Suelo* 32, 233–246.
- Dreccer, M.F., Schapendonk, A.H.C.M., Slafer, G.A., Rabbinge, R., 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilisation efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. *Plant Soil* 220, 189–205. <https://doi.org/10.1023/a:1004757124939>
- Ernst, O., Siri-Prieto, G., 2009. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. *Soil Tillage Res.* 105, 260–268.
- Ernst, O., Siri-Prieto, G., Cadenazzi, M., 2009. Influence of Crop-Pasture Rotation and Tillage System on Yields of Wheat, Soybean, Barley, Sorghum and Sunflower in Uruguay. *J. Agric. Mach. Sci.* 53, 253–262.
- Ernst, O.R., Dogliotti, S., Cadenazzi, M., Kemanian, A.R., 2018. Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield. *F. Crop. Res.* 217, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.014>
- Ernst, O.R., Kemanian, A.R., Mazzilli, S.R., Cadenazzi, M., Dogliotti, S., 2016. Depressed attainable wheat yields under continuous annual no-till agriculture suggest declining soil productivity. *F. Crop. Res.* 186, 107–116. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.11.005>
- Ernst, O.R., Kemanian, A.R., Mazzilli, S.R., Siri-Prieto, G., Dogliotti, S., 2020. The dos and don'ts of no-till continuous cropping: Evidence from wheat yield and nitrogen use efficiency. *F. Crop. Res.* 257, 107934. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107934>
- FAO. 2016. FAOSTAT: Food and agriculture data. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://faostat.fao.org/> (accessed 19 Feb 2017).
- Ferreira, G., Ernst, O., 2014. Diagnóstico del estado nutricional del cultivo de colza (*Brassica napus*) en base a curvas de dilución de nitrógeno y azufre. *Agrociencia* 18, 75–85.
- Fochesatto, E.; Nied, A. H.; Bergamaschi, H.; Dalmago, G. A.; Da Cunha, G. R.; De Gouvêa, J. A.; Kovaleski, S.; Santi, A.; Ambrósio dos Santos, M. 2014. Influência de variáveis ambientais no acúmulo de graus dia em canola. In: Simpósio Latinoamericano de Canola (1º., 2014, Passo Fundo, RS, Brasil). Actas. Brasília, Brasil, EMBRAPA. s.p.
- Frank, F.C., Viglizzo, E.F., 2012. Water use in rain-fed farming at different scales in the Pampas of Argentina. *Agric. Syst.* 109, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.02.003>
- Gastal, F., Lemaire, G., 1997. N Uptake and Distribution in Plant Canopies. *Diagnosis Nitrogen Status Crop.* 53, 3–43. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60684-7_1
- Geisler, G., Stoy, A., 1987. Untersuchungen zum Einfluß der Bestandesdichte auf das Ertragspotential von Rapspflanzen (*Brassica napus* L. var. *napus*). *J. Agron. Crop Sci.* 159, 232–240. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1987.tb00094.x>
- Giller, K.E.; P. Chalk; A. Dobermann; L. Hammond; P. Heffer; J.K. Ladha; P. Nyamudeza; L. Maene; H. Ssali and J. Freney. 2004. Emerging technologies to increase the efficiency of use of fertilizer nitrogen. In: Mosier, A.R., Syers, K.J., Freney, J.R. (Eds.), *Agriculture and the Nitrogen Cycle*. Island Press, Washington, USA, pp. 35–51.
- Giménez, L., Paredes, P., Pereira, L.S., 2017. Water use and yield of soybean under various irrigation regimes and severe water stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc models. *Water (Switzerland)* 9. <https://doi.org/10.3390/w9060393>
- Giménez, L., Petillo, M.G., Paredes, P., Pereira, L.S., 2016. Predicting maize transpiration, water use and productivity for developing improved supplemental irrigation schedules in western uruguay to cope with climate variability. *Water (Switzerland)* 8. <https://doi.org/10.3390/w8070309>
- Gómez, N. A. 2007. Colza-canola como alternativa para producir biocombustibles; fortalezas y debilidades. In: Vilella, F.; Rosatto, H.; Senesi, S. eds. *Bioenergía; avances y perspectivas*. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad Agronomía. pp. 39–55.
- Gomez, N. V., Miralles, D.J., 2011. Factors that modify early and late reproductive phases in oilseed rape (*Brassica napus* L.): Its impact on seed yield and oil content. *Ind. Crops Prod.* 34, 1277–1285. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.07.013>
- Greenwood, D.J., 2001. Modeling N-response of field vegetable crops grown under diverse conditions with N-ABLE: A review. *J. Plant Nutr.* 24, 1799–1815. <https://doi.org/10.1081/PLN-100107313>
- Harker, K.N., Donovan, J.T.O., Smith, E.G., Johnson,

- E.N., Peng, G., Willenborg, C.J., Gulden, R.H., Mohr, R., Gill, K.S., Grenkow, L.A., Canada, A., Trail, E., Canada, A., 2015. Seed size and seeding rate effects on canola emergence, development, yield and seed weight. *Can. J. Plant Sci.* 95, 1–8. <https://doi.org/10.4141/CJPS-2014-222>
- Harker, K.N., O'Donovan, J.T., Turkington, T.K., Blackshaw, R.E., Lupwayi, N.Z., Smith, E.G., Johnson, E.N., Gan, Y., Kutcher, H.R., Dossdall, L.M., Peng, G., 2014. Canola rotation frequency impacts canola yield and associated pest species. *Can. J. Plant Sci.* 95, 9–20. <https://doi.org/10.4141/CJPS-2014-289>
- Hegewald, H., Wensch-Dorendorf, M., Sieling, K., Christen, O., 2018. Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. *Eur. J. Agron.* 101, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.003>
- Herbek, J.; Murdock, L. 2001. Temperature effects. In: *Canola production and management*. Lexington, KY, College of Agriculture, Food and Environment. s.p. (Ag Communications Issued 9-92 Revised). Consultado 17 nov. 2017. Disponible en <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/id/id114/id114.htm>
- Hocking, P.J., Randall, P.J., DeMarco, D., 1997. The response of dryland canola to nitrogen fertilizer: Partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen, and nitrogen effects on yield components. *F. Crop. Res.* 54, 201–220. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00049-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00049-X)
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J., Mchet, J., Thelierhuches, L., 1994. Determination of a critical N doilution curve for winter wheat crops.
- Kirkegaard, J.A., Lilley, J.M., Brill, R.D., Ware, A.H., Walela, C.K., 2018. The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). *F. Crop. Res.* 222, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.018>
- Kirkegaard, J.A., Sarwar, M., 1999. Glucosinolate profiles of Australian canola (*Brassica napus annua* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars: implications for biofumigation. *Aust. J. Agric. Res.* 50, 315–324.
- Kirkegaard, J.A., Sarwar, M., Wong, P.T.W., Mead, A., Howe, G., Newell, M., 2000. Field studies on the biofumigation of take-all by *Brassica* break crops. *Aust. J. Agric. Res.* 51, 445–456. <https://doi.org/10.1071/AR99106>
- Koide, R.T., Peoples, M.S., 2012. On the nature of temporary yield loss in maize following canola. *Plant Soil* 360, 259–269. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1237-0>
- Kuai, J., Sun, Y., Zuo, Q., Huang, H., Liao, Q., Wu, C., Lu, J., Wu, J., Zhou, G., 2015. The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing. *Sci. Rep.* 5, 1–14. <https://doi.org/10.1038/srep18835>
- Kutcher, H.R., Brandt, S.A., Smith, E.G., Ulrich, D., Malhi, S.S., Johnston, A.M., 2013. Blackleg disease of canola mitigated by resistant cultivars and four-year crop rotations in western Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 35, 209–221. <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.775600>
- Leach, J.E., Stevenson, H.J., Rainbow, A.J., Mullen, L.A., 1999. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci.* 132, 173–180. <https://doi.org/10.1017/S0021859698006091>
- Lemaire, G., Jeuffroy, M.H., Gastal, F., 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *Eur. J. Agron.* 28, 614–624. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.005>
- Malhi, S.S., Gan, Y., Raney, J.P., 2007. Yield, seed quality, and sulfur uptake of *Brassica* oilseed crops in response to sulfur fertilization. *Agron. J.* 99, 570–577. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0269>
- Marti, J., Savin, R., Slafer, G.A., 2015. Wheat Yield as Affected by Length of Exposure to Waterlogging During Stem Elongation. *J. Agron. Crop Sci.* 201, 473–486. <https://doi.org/10.1111/jac.12118>
- Matthiessen, J., Kirkegaard, J., 2006. Biofumigation and enhanced biodegradation: Opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* 25, 235–265. <https://doi.org/10.1080/07352680600611543>
- Mazzilli, S.R., Ernst, O.R., de Mello, V.P., Pérez, C.A., 2016. Yield losses on wheat crops associated to the previous winter crop: Impact of agronomic practices based on on-farm analysis. *Eur. J. Agron.* 75, 99–104. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.007>
- Oil World. 2018. Oil world: Independent global market analyses and forecasts. ISTA MIELKE GmbH, Hamburg, Germany. <http://www.oilworld.biz> (accessed 20 Feb. 2019).
- Orlovius, K., 2003. Fertilizing for High Yield and Quality - Oilseed Rape. *IPI Bull. No. 16* 16, 125.
- Owen, K.J., Clewett, T.G., Thompson, J.P., 2010. Pre-cropping with canola decreased *Pratylenchus thornei* populations, arbuscular mycorrhizal fungi, and yield of wheat. *Crop Pasture Sci.* 61, 399–410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/CP09345>

- Ozer, H., 2003. The effect of plant population densities on growth, yield and yield components of two spring rapeseed cultivars. *Plant, Soil Environ.* 49, 422–426. <https://doi.org/10.17221/4151-pse>
- Pascale, N., Vilariño, P., Gomez, N., Windawer, L., Delfino, S. 1993. Componentes del rendimiento de colzas «doble cero» de primavera («*Brassica napus* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.*
- Paruelo, J.M., Guerschman, J.P., Piñeiro, G., Jobbágy, E.G., Verón, S.R., Baldi, G., Baeza, S., 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia* 10, 47–61. <https://doi.org/10.2307/2577037>
- Pinkerton, A., 1998. Critical sulfur concentrations in oilseed rape (*Brassica napus*) in relation to nitrogen supply and to plant age. *Aust. J. Exp. Agric.* 38, 511–522. <https://doi.org/10.1242/jcs.023820>
- Pinto, P., Fernández Long, M.E., Piñeiro, G., 2017. Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America? *Agric. Ecosyst. Environ.* 248, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.028>
- Ploschuk, R.A., Miralles, D.J., Colmer, T.D., Ploschuk, E.L., Striker, G.G., 2018. Waterlogging of Winter Crops at Early and Late Stages: Impacts on Leaf Physiology, Growth and Yield. *Front. Plant Sci.* 9, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01863>
- Puhl, L.E., Miralles, D.J., López, C.G., Iriarte, L.B., Rondanini, D.P., 2019. Genotype × environment interaction on the yield of spring oilseed rape (*Brassica napus*) under rainfed conditions in Argentine Pampas. *J. Agric. Sci.* 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0021859619000522>
- Reussi, N., Echeverría, H.E., RozasHerná, H.S., 2012. Stability of foliar nitrogen: Sulfur ratio in spring red wheat and sulfur dilution curve. *J. Plant Nutr.* 35, 990–1003. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.671403>
- Rondanini, D.P., Gomez, N. V, Agosti, M.B., Miralles, D.J., 2012. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *Eur. J. Agron.* 37, 56–65. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2011.10.005>
- Rondanini, D.P., Menendez, Y.C., Gomez, N. V., Miralles, D.J., Botto, J.F., 2017. Vegetative plasticity and floral branching compensate low plant density in modern spring rapeseed. *F. Crop. Res.* 210, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.021>
- Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J., Pedrol, H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *F. Crop. Res.* 113, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>
- Salvo, L., Hernández, J., Ernst, O., 2014. Soil organic carbon dynamics under different tillage systems in rotations with perennial pastures. *Soil Tillage Res.* 135, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.08.014>
- Salvo, L., Hernández, J., Ernst, O., 2010. Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. *Soil Tillage Res.* 109, 116–122.
- Sarker, J.R., Singh, B.P., Cowie, A.L., Fang, Y., Collins, D., Dougherty, W.J., Singh, B.K., 2018. Carbon and nutrient mineralisation dynamics in aggregate-size classes from different tillage systems after input of canola and wheat residues. *Soil Biol. Biochem.* 116, 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.030>
- Scarlsbrick D. H. and D. W. Daniels (Eds.). 1986. *Oilseed Rape*, Collins Professional and Technical Books, London.
- Schwab, M. I. 2010. Comportamiento agronómico de colza según fechas de siembra. Tesis Ingeniero en Producción Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Universidad Católica Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. 48 p.
- Setter, T. L., and I. Waters, 2003: Review of prospects for germ- plasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. *Plant Soil* 253, 1–34
- Shahin, Y., Valiollah, R., 2009. Effects of row spacing and seeding rates on some agronomical traits of spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *J. Cent. Eur. Agric.* 10, 115–122. <https://doi.org/10.5513/jcea.v10i1.757>
- Sincik, M., Goksoy, A.T., Turan, Z.M., 2010. Influence of sowing properties on winter oilseed rape in a sub-humid Mediterranean environment. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* 38, 171–175. <https://doi.org/10.15835/nbha3814570>
- Stone, P. 1994. The effects of heat stress on cereal yield and quality. In: Basra, A. S. ed. *Crop responses and adaptations to temperature stress*. Binghamton, New York, Food Products Press. pp. 243-291
- Takashima, N.E., Rondanini, D.P., Puhl, L.E., Miralles, D.J., 2013. Environmental factors affecting yield variability in spring and winter rapeseed genotypes cultivated in the southeastern Argentine Pampas. *Eur. J. Agron.* 48, 88–100. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.01.008>

- Valetti, O. 1996. El cultivo de colza-canola. INTA Barrow. Tres Arroyos, Argentina.
- Vujakovic, M., Marjanovic-Jeromela, A., Jovicic, D., Marinkovic, R., 2015. Dependence of rapeseed quality and yield on density, variety and year of production. *Ratar. i Povrt.* 52, 61–66. <https://doi.org/10.5937/ratpov52-7188>
- Waseem, M., Baloch, D.M., Khan, I., 2014. Influence of Various Row Spacing on the Yield and Yield Components of Raya Anmol and Faisal Canola under Coastal Climatic Conditions of Lasbela. *Am. J. Plant Sci.* 05, 2230–2236. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.515237>
- Wollenweber, B., Porter, J.R., Schellberg, J., 2003. Lack of interaction between extreme high-temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 189, 142–150. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00025.x>
- Wollmer, A.C., Pitann, B., Mühling, K.H., 2018. Waterlogging events during stem elongation or flowering affect yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.) but not seed quality. *J. Agron. Crop Sci.* 204, 165–174. <https://doi.org/10.1111/jac.12244>
- Xu, M., Ma, H., Zeng, L., Cheng, Y., Lu, G., Xu, J., Zhang, X., Zou, X., 2015. The effect of waterlogging on yield and seed quality at the early flowering stage in *Brassica napus* L. *F. Crop. Res.* 180, 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.06.007>
- Zhang X K, Chen J, Wang H Z, Li J N, Zou C S. 2007a. Genetic difference of waterlogging tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 29, 204- 208. (in Chinese)

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto INIA-FPTA 287. Agradecemos especialmente a la empresa Greising & Elizarzú la cual puso a disposición del proyecto su campo experimental para poder llevar adelante los experimentos, y a Marcelo Sassi que lideró los trabajos de campo en ese sitio experimental. A su vez queremos agradecer a los Ing. Agr. Roberto Robino, Vittorio Riani y Alejandra Elizarzú quienes apoyaron desde distintas áreas la realización de este proyecto. Agradecemos a COPAGRAN por la información de precios suministrada, a la empresa Rutilan S.A por la semilla para la siembra del cultivo de maíz. Los ensayos de evaluación del antecesor colza sobre los cultivos de verano fue parte de la tesis de grado de Camila Ferrando, Cecilia Pattarino y Luciana Rey. Los ensayos de fertilización fueron posi-

bles gracias a la disponibilidad de sitios brindada por técnicos y empresas de la región: Agrosandú SRL (Pablo Montenegro), Terra Nova (Farbicio Chinazzo), Kilafen (Gonzalo Buzzoni) y Ruben Mazzilli. Durante el año 2015 los ensayos de fertilización fueron parte de la tesis de grado Santiago López Berocay y Maximiliano Verocai Britos. A su vez un análisis global de los datos fue parte de la tesis de grado de Emiliano Coitiño. Para los ensayos de fechas de siembra durante el año 2015 los mismos fueron parte de la tesis de Sebastián Baccino y Agustín Kacevas. Para el procesamiento final de la información y la presentación gráfica de resultados utilizando el programa R, el apoyo de Gastón Scneck y Sebastián Bonansea fue relevante. A todos muchas gracias.

ANEXOS

Anexo 1. Costos, manejo y márgenes del cultivo de colza.

Colza 2014				Colza 2015			
Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹
Labores				Labores			
Mosquito	4	10	39.5	Mosquito	4	10	40.0
Fertilizadora	2	12	24.7	Fertilizadora	2	12	23.9
Sembradora	1	61	61.3	Sembradora	1	58	57.9
Hileradora	1	48	48.4	Hileradora	1	45	44.5
Cosechadora	1	84	84.0	Cosechadora	1	81	81.3
Subtotal Labores			258	Subtotal Labores			248
Insumos				Insumos			
Semillas				Semillas			
Semilla Colza	4	7	28.0	Semilla Colza	4	6	24.0
Fertilizantes				Fertilizantes			
7-40-0/5	150	0.53	79.5	7-40-0/5	150	0.50	74.3
UREA Granul.	224	0.50	112.0	UREA Granul.	250	0.47	116.3
Herbicidas				Herbicidas			
Glifosato (48 gr PA l ⁻¹)	5	3.2	16.0	Glifosato (48 gr PA l ⁻¹)	5	3.9	19.5
Clopyralid (36 g l ⁻¹)	0.3	35.6	10.7	Clopyralid (36 g l ⁻¹)	0.3	34.8	10.4
Haloxifop-R-metil (520 g l ⁻¹)	0.1	107	10.7	Haloxifop-R-metil (520 g l ⁻¹)	0.1	88.8	8.9
Fungicidas				Fungicidas			
Insecticidas				Insecticidas			
Triflurumuron (480 g l ⁻¹)	0.2	21.8	4.36	Triflurumuron (480 g l ⁻¹)	0.2	20	4.2
Subtotal Insumos			261	Subtotal Insumos			258
COSTOS TOTALES			519	COSTOS TOTALES			505
INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO				INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO			
Rendimiento (kg ha ⁻¹)			2707	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			3129
Materia grasa en grano (%)			43.0	Materia grasa en grano (%)			46.1
Precio (US\$ kg ⁻¹)			0.500	Precio (US\$ kg ⁻¹)			0.440
Precio incluyendo materia grasa (US\$ kg ⁻¹)			0.505	Precio incluyendo materia grasa (US\$ kg ⁻¹)			0.458
PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			1367	PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			1433
Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.054		147	Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.054		169
MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			701	MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			759

Anexo 2. Costos, manejo y márgenes del cultivo de trigo.

Trigo 2014				Trigo 2015			
Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹
Labores				Labores			
Mosquito	3	10	29.6	Mosquito	3	10	30.0
Fertilizadora	2	12	24.7	Fertilizadora	2	12	23.9
Sembradora	1	61	61.3	Sembradora	1	58	57.9
Cosechadora	1	84	84.0	Cosechadora	1	81	81.3
Subtotal Labores			200	Subtotal Labores			193
Insumos				Insumos			
Semillas				Semillas			
Semilla Trigo	85	0.81	68.9	Semilla Trigo	90	0.82	73.8
Fertilizantes				Fertilizantes			
7-40-0/5	150	0.53	79.5	7-40-0/5	150	0.50	74.3
UREA Granul.	224	0.50	112.0	UREA Granul.	250	0.465	116.3
Herbicidas				Herbicidas			
Glifosato (48 gr PA l ⁻¹)	5	3.2	16.0	Glifosato (48 gr PA l ⁻¹)	5	3.9	19.5
Aminopiridid (44.38 g)+ Metsulfuron metil (30 g)	0.0134	704	9.4	Aminopiridid (44.38 g)+ Metsulfuron metil (30 g)	0.0134	671	9.0
				Iodosulfuron-Methyl Sodium (100 g l ⁻¹)	0.04	280	11.2
				Metsulfuron - methyl (60%)	0.004	61	0.2
Fungicidas				Fungicidas			
Pyraclostrobin (13.3g) + Epoxiconazole (5g)	1.0	22	22.0	Azoxystrobin (20 g)+ Cyproconazole (8 g)	0.35	56	19.6
Insecticidas				Insecticidas			
Triflumuron (480 g l ⁻¹)	0.12	60	7.2	Triflumuron (480 g l ⁻¹)	0.12	58	7.0
Subtotal Insumos			315	Subtotal Insumos			331
COSTOS TOTALES			515	COSTOS TOTALES			524
INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO				INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO			
Rendimiento (kg ha ⁻¹)			4709	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			6066
Precio (US\$ kg ⁻¹)			0.227	Precio (US\$ kg ⁻¹)			0.162
PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			1069	PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			983
Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.032		151	Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.032		194
MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			404	MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			265

Anexo 3. Costos, manejo y márgenes del cultivo de soja según antecesor de invierno.

Soja - Antecesor colza - 2014/15				Soja - Antecesor trigo - 2014/15			
Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹
Labores				Labores			
Mosquito	5	10	49.4	Mosquito	5	10	49.4
Fertilizadora	0	12	0.0	Fertilizadora	0	12	0.0
Sembradora	1	61	61.3	Sembradora	1	61	61.3
Cosechadora	1	84	84.0	Cosechadora	1	84	84.0
Subtotal Labores			195	Subtotal Labores			195
Insumos				Insumos			
Semillas				Semillas			
Semilla Soja	95	0.75	71.3	Semilla Soja	95	0.75	71.3
Fertilizantes				Fertilizantes			
Herbicidas				Herbicidas			
Glifosato 48%	7	2.9	20.5	Glifosato 48%	7	2.9	20.5
Fungicidas				Fungicidas			
Insecticidas				Insecticidas			
Triflumuron (480 g l ⁻¹)	0.2	21.8	4.4	Triflumuron (480 g l ⁻¹)	0.2	21.8	4.4
Tiametoxan (141 g l ⁻¹) + Lambda cialotrina (106 g l ⁻¹)	0.44	18.2	8.0	Tiametoxan (141 g l ⁻¹) + Lambda cialotrina (106 g l ⁻¹)	0.44	18.2	8.0
Subtotal Insumos			104	Subtotal Insumos			104
COSTOS TOTALES			299	COSTOS TOTALES			299
INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO				INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO			
Rendimiento (kg ha⁻¹)			3075	Rendimiento (kg ha⁻¹)			2761
Precio (US\$ kg⁻¹)			0.357	Precio (US\$ kg⁻¹)			0.357
PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			1097	PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			985
Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.032		99	Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.032		89
MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			699	MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			597

Anexo 4. Costos, manejo y márgenes del cultivo de maíz según antecesor de invierno.

Maíz - Antecesor colza - 2015-16				Maíz - Antecesor trigo - 2015-16			
Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	Detalle	Cant/Dosis ha ⁻¹	US\$ Unidad ⁻¹	US\$ ha ⁻¹
Labores				Labores			
Mosquito	2	10	20.0	Mosquito	2	10	20.0
Fertilizadora	1	12	11.9	Fertilizadora	1	12	11.9
Sembradora	1	84	84.5	Sembradora	1	84	84.5
Cosechadora	1	104	103.6	Cosechadora	1	104	103.6
Subtotal Labores			220	Subtotal Labores			220
Insumos				Insumos			
Semillas				Semillas			
Semilla Maíz (Bolsa)	0.8	203	162.4	Semilla Maíz (Bolsa)	0.8	203	162.4
Fertilizantes				Fertilizantes			
UREA Granul.	100	0.47	46.5	UREA Granul.	100	0.47	46.5
			0.0				0.0
Herbicidas				Herbicidas			
Glifosato 48%	7.0	2.6	18.1	Glifosato 48%	7.0	2.6	18.1
Atrazine (90%)	1.0	5.0	5.0	Atrazine (90%)	1.0	5.0	5.0
Alpha Metolachlor (960 g l ⁻¹)	1.5	10.6	15.9	Alpha Metolachlor (960 g l ⁻¹)	1.5	10.6	15.9
Fungicidas				Fungicidas			
Insecticidas				Insecticidas			
Subtotal Insumos			248	Subtotal Insumos			248
COSTOS TOTALES			468	COSTOS TOTALES			468
INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO				INGRESOS - COSTOS POST COSECHA - MARGEN BRUTO			
Rendimiento (kg ha⁻¹)			6642	Rendimiento (kg ha⁻¹)			5637
Precio (US\$ kg⁻¹)			0.199	Precio (US\$ kg⁻¹)			0.199
PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			1322	PRODUCTO BRUTO (US\$ ha⁻¹)			1122
Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.032		213	Flete (US\$ kg ⁻¹)	0.032		181
MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			641	MARGEN BRUTO (US\$ ha⁻¹)			473

INIA Dirección Nacional
Avenida Italia 6201,
Ed. Los Guayabos,
Parque Tecnológico LATU.
Montevideo
Tel.: 2605 6021
inia@inia.org.uy

INIA La Estanzuela
Ruta 50, Km 11
Colonia
Tel.: 598 4574 8000
Fax: 598 4574 8012
iniale@le.inia.org.uy

INIA Las Brujas
Ruta 48, Km 10
Canelones
Tel.: 598 2367 7641
Fax: 598 2367 7609
inia_lb@lb.inia.org.uy

INIA Salto Grande
Camino al Terrible
Salto
Tel.: 598 4733 5156
Fax: 598 4732 9624
inia_sg@sg.inia.org.uy

INIA Tacuarembó
Ruta 5, Km 386
Tacuarembó
Tel.: 598 4632 2407
Fax: 598 4632 3969
iniatbo@tb.inia.org.uy

INIA Treinta y Tres
Ruta 8, Km 281
Treinta y Tres
Tel.: 598 4452 2023
Fax: 598 4452 5701
iniatt@tyt.inia.org.uy

www.inia.uy