

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**IMPACTO DEL ANTECESOR INVERNAL SOBRE EL RENDIMIENTO DE
SOJA DE SEGUNDA. UN ANÁLISIS BASADO EN REGISTROS DE
PRODUCTORES CREA**

por

Matías CARDOZO FREIRE

Matías GUARAGLIA SAPORITTI

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2018

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Luis Giménez

Fecha: 8 de agosto de 2018

Autores: -----

Matías Cardozo Freire

Matías Guaraglia Saporitti

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar los autores queremos agradecer a nuestras familias por el invaluable apoyo recibido durante la realización de la carrera, sin el cual hubiese sido imposible alcanzar en forma satisfactoria la meta planteada al inicio de la misma. A nuestros amigos y compañeros de generación, quienes de una forma u otra acompañaron y apoyaron nuestro paso por la facultad e hicieron que los años transcurridos dentro de la misma hayan dejado muchas enseñanzas y el mejor de los recuerdos.

Seguidamente, al director de la tesis, Ing. Agr. Sebastián Mazzilli por la confianza y el apoyo brindado para la realización de este trabajo, así como también el agradecimiento para el Ing. Agr. Oswaldo Ernst y el Ing. Agr. Luis Giménez por conformar el tribunal de evaluación.

Finalmente, el agradecimiento para FUCREA por haber brindado y cedido en forma desinteresada información indispensable para la realización del trabajo, sin la cual no habría sido posible la realización del mismo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. EL DOBLE CULTIVO ANUAL O CULTIVOS DE SEGUNDA.....	3
2.2. EFECTO DEL ANTECESOR INVERNAL.....	4
2.2.1. <u>Fecha de siembra</u>	4
2.2.2. <u>Disponibilidad inicial de agua</u>	6
2.2.3. <u>Disponibilidad inicial de nitrógeno</u>	8
2.2.4. <u>Cantidad y calidad de luz</u>	9
2.2.5. <u>Alelopatía</u>	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1. BASE DE DATOS.....	15
3.2. EFECTO DEL ANTECESOR DE INVIERNO SOBRE EL RENDIMIENTO.....	17
3.3. FECHA DE SIEMBRA Y RENDIMIENTO.....	18
3.4. MANEJO DE NUTRIENTES EN FUNCIÓN DEL ANTECESOR.....	20
3.4.1. <u>Agregado de fósforo y potasio</u>	20
3.4.2. <u>Rendimiento y estrategia de fertilización en función del agregado de fósforo y potasio distinguiendo entre chacras con y sin valor de análisis de suelo</u>	20
3.4.3. <u>Rendimiento en función del agregado de fósforo y potasio en chacras con valor de análisis de suelo y disponibilidad total de nutriente en suelo por encima del nivel crítico</u>	21
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
4.1. EFECTO DEL ANTECESOR DE INVIERNO SOBRE EL RENDIMIENTO.....	22

4.2. FECHA DE SIEMBRA Y RENDIMIENTO	25
4.3. MANEJO DE NUTRIENTES EN FUNCIÓN DEL ANTECESOR.....	32
4.3.1. <u>Agregado de fósforo y potasio</u>	32
4.3.2. <u>Rendimiento y estrategia de fertilización en función del agregado de fósforo y potasio distinguiendo entre chacras con y sin valor de análisis de suelo</u>	34
4.3.2.1 Fósforo.....	35
4.3.2.2 Potasio.....	41
4.3.3. <u>Rendimiento en función del agregado de fósforo y potasio en chacras con valor de análisis de suelo y disponibilidad total de nutriente en suelo por encima del nivel crítico</u>	48
5. <u>CONCLUSIONES</u>	51
6. <u>RESUMEN</u>	53
7. <u>SUMMARY</u>	55
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	57

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Número de chacras en función del antecesor invernal para las dos zonas delimitadas durante el período 2009-2016.....	16
2. Análisis de la varianza para la variable rendimiento de soja de segunda en función del antecesor invernal para la zona litoral norte y litoral sur, período 2009-2016..	22
3. Número de chacras, proporción (%) de chacras y rendimiento relativo, con análisis de suelo (fósforo Bray 1 en ppm; potasio en meq/100g) según zona y antecesor invernal.	34
4. Número de chacras, proporción (%) de chacras y rendimiento relativo, sin análisis de suelo (fósforo Bray 1, ppm; potasio, meq/100g) según zona y antecesor invernal.....	34
Figura No.	
1. Distribución de la superficie sembrada de soja de segunda en función del antecesor invernal para las dos zonas delimitadas durante el período 2009-2016.	7
2. Rendimiento relativo de la soja de segunda en función del antecesor invernal durante el período 2009-2016 para la zona litoral sur y litoral norte.	22
3. Proporción de rendimiento relativo de cebada sobre rendimiento relativo de trigo para la zona litoral sur y litoral norte, período 2009-2016.....	23
4. Proporción acumulada de chacras sembradas con soja de segunda en función de la fecha de siembra para ambos antecesores de invierno, sin distinguir entre zonas, durante el período 2009-2016.....	26
5. Rendimiento relativo según antecesor de invierno y fecha de siembra para la zona litoral norte y litoral sur, período 2009-2016.....	27
6. Rendimiento (kg ha ⁻¹) según fecha de siembra para la zona litoral norte y litoral sur durante el período 2009-2016...	29
7. Rendimientos relativos mínimos, medios y máximos según fecha de siembra en forma decádica para la zona litoral norte y litoral sur, período 2009-2016..	30

8. Manejo de los nutrientes fósforo y potasio en función del antecesor invernial para las zonas litoral sur y litoral norte, durante el período 2009-2016... ..	33
9. Rendimiento relativo y proporción de chacras que cuentan con valor de análisis de suelo para fósforo (Bray 1, ppm) según la dosis de nutriente aplicada, para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.....	36
10. Dosis agregada de fósforo en función del valor de análisis de suelo y proporción acumulada de chacras según valor de análisis de suelo para fosforo (Bray 1, ppm), para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.....	38
11. Rendimiento relativo y proporción de chacras según dosis aplicada donde no realizan análisis de suelo para fósforo (Bray 1, ppm), según zona y antecesor de invierno.....	40
12. Rendimiento relativo (a) y proporción de chacras que cuentan con valor de análisis de suelo para potasio (meq/ 100g) según la dosis de nutriente aplicada (b), para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.....	42
13. Dosis agregada de potasio en función del valor de análisis de suelo y proporción acumulada de chacras según valor de análisis de suelo para potasio (meq/ 100g), para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.....	45
14. Rendimiento relativo y proporción de chacras según dosis aplicada donde no realizan análisis de suelo para potasio (meq/ 100g) , según zona y antecesor de invierno.....	46
15. Rendimiento relativo según antecesor de invierno y fecha de siembra para la zona litoral Norte (a) y litoral Sur (b), en chacras que contaban con análisis de suelo para fósforo y el ajuste del nutriente fue correcto.....	48
16. Rendimiento relativo según antecesor de invierno y fecha de siembra para la zona litoral Norte (a) y litoral Sur (b), en chacras que contaban con análisis de suelo para potasio y el ajuste del nutriente fue correcto.....	49

1. INTRODUCCIÓN

La coyuntura actual muestra una evolución a la baja del valor de los granos en el mercado mundial y un incremento en los costos de producción de los cultivos, lo cual impacta en forma significativa en los sistemas de producción. La alternativa de apostar en forma casi exclusiva a la siembra de cultivos de verano de primera, fundamentalmente soja, sin efectuar cultivos de invierno, en la actualidad enfrenta problemas asociados a la sustentabilidad de los sistemas.

Si bien el rendimiento de los cultivos de invierno se ha incrementado a razón de 55 kg ha^{-1} por año durante las últimas cuatro décadas, en forma paralela los costos de producción de estos cultivos lo hicieron en 80 kg ha^{-1} por año, es en este sentido que el rendimiento de equilibrio en trigo y en cebada para la zafra 2015 fue de 3750 kg ha^{-1} y 3490 kg ha^{-1} , respectivamente (Hoffman, 2017).

Estos valores en muchos casos imprimen un importante desestimulo a la siembra de trigo y cebada, y en consecuencia el área sembrada con soja de segunda ha venido disminuyendo en los últimos años, pasando del entorno de las 500 mil ha sembradas entre los años 2009 y 2014 a valores de 346 mil ha sembradas en la zafra 2017/18 (MGAP. DIEA, 2017).

A pesar de lo expresado anteriormente, resulta importante seguir incluyendo cereales de invierno en las secuencias agrícolas debido a los múltiples beneficios ya reportados por ejemplo sobre el mantenimiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos, sobre la eficiencia en la captura y el uso de recursos por parte de los cultivos, entre otros.

De esta manera, resulta importante que el rendimiento de la soja de segunda se maximice dentro de las posibilidades que brinda la época de siembra, de forma tal que mejore la rentabilidad de los sistemas de producción, con una visión del sistema en su conjunto y no en forma individual buscando rentabilidad con un solo cultivo al año, como ocurre con la soja de primera.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente el objetivo de este trabajo es a partir de registros de rendimiento de soja de segunda de siete zafras de productores CREA, poder estimar las diferencias en rendimiento entre los diferentes antecesores invernales (trigo y cebada) y en caso de que existan, encontrar los mecanismos que estarían explicando dichas diferencias.

Generar esta información a nivel nacional podría ser de gran utilidad para los productores a la hora de planificar los márgenes de cultivos anuales, en este caso el de la soja de segunda, además de ser un elemento más que pueda contribuir a la hora de la toma de decisiones.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL DOBLE CULTIVO ANUAL O CULTIVOS DE SEGUNDA

En los sistemas agrícolas el uso del suelo puede implicar el aprovechamiento de una sola estación de crecimiento al año (la invernal o la estival), fundamentalmente en aquellas partes del mundo en donde el clima así lo determina, o puede implicar el aprovechamiento de las dos estaciones de crecimiento a lo largo del año mediante la implementación del doble cultivo anual, con un cultivo de invierno y uno de verano que se denominada de segunda porque se siembra después de un cultivo que se cosecha (“de renta”) y a su vez por su siembra tardía no se logra aprovechar por completo la estación de crecimiento del cultivo estival (Andrade y Satorre, 2015b).

El doble cultivo anual ha sido largamente implementado por agricultores en muchas regiones alrededor del mundo (Fischer et al., 2014) no solamente porque la productividad anual de la tierra y el uso de insumos se han incrementado, sino que también porque los rendimientos de los sistemas de doble cultivo anual son usualmente más estables que aquellos sistemas de un solo cultivo por año (Andrade et al., 2015a).

Múltiples son los beneficios que han sido reportados de la implementación de sistemas de doble cultivo anual o del incremento en su frecuencia dentro de las rotaciones, pero a grandes rasgos se puede decir que el principal beneficio es el incremento en la captura de recursos por parte de los cultivos que integran la secuencia, determinado una mayor productividad de los sistemas (Andrade, 2017).

A pesar de la mejora en la productividad mediante la implementación del doble cultivo anual, es importante determinar que cultivos integran la secuencia y el orden en que lo hacen, ya que esto define los cultivos antecesores para el cultivo de verano de segunda. El estudio de los mismos resulta fundamental ya que determinan las condiciones iniciales (disponibilidad de agua y de nutrientes) y la eficiencia de uso de los recursos como la radiación, el agua y los nutrientes de los cultivos siguientes en la rotación (Reeves, 1994) por ende la productividad de los mismos.

Los cultivos de trigo y de cebada se encuentran entre los más frecuentes antecesores invernales para los cultivos de verano en las regiones templadas como es el caso de Uruguay, por lo tanto, determinar si existen diferencias en el rendimiento del cultivo de soja de segunda debidas al efecto per se de uno u otro antecesor resultaría clave para el diseño de sistemas de

producción más productivos, estables y sostenibles en el mediano y largo plazo (Andrade et al., 2015a).

2.2. EFECTO DEL ANTECESOR INVERNAL

La implementación de la siembra directa que se lleva a cabo a nivel nacional con el principal objetivo de poner freno al proceso erosivo y mejorar la calidad de los suelos para así mantener su fertilidad y productividad, determina la presencia y acumulación de rastrojos en superficie a la hora de la siembra de los diferentes cultivos. Este hecho repercute en el ambiente edáfico y genera modificaciones a nivel de la absorción de nutrientes por parte de los cultivos, a nivel del contenido de humedad del suelo y de la disponibilidad inicial de agua, así como también a nivel de la temperatura edáfica, la cantidad y la calidad de luz que llega al perfil del suelo (Perdomo y Barbazán 1999, Ernst y Siri Prieto 2008).

En este sentido se procederá a analizar las principales variables sobre las que tiene efecto la presencia de rastrojo en superficie, en este caso de cultivos de invierno antecesores de la soja de segunda, y cómo pueden impactar sobre el desempeño productivo de dicho cultivo.

2.2.1. Fecha de siembra

La fecha de siembra es la medida de manejo más importante que debe definirse previo a la siembra de cualquier cultivo ya que es quién define las condiciones ambientales (radiación solar incidente, temperatura del aire y del suelo, disponibilidad inicial de agua y nutrientes en el suelo, etc.) a las que se va a someter el cultivo durante la estación de crecimiento y por ende determina en gran medida el potencial de rendimiento del mismo (Andrade et al., 2015a).

Si bien en la investigación nacional no existen estudios que hayan cuantificado las diferencias en rendimiento en soja de segunda luego de un cultivo de trigo o de cebada como antecesor invernal en sistemas bajo siembra directa con permanencia de rastrojos en superficie, si es sostenido el hecho de que la cebada como antecesor permite por la duración de su ciclo cosecharse antes y por ende liberar en forma más temprana la chacra para la siembra de la soja de segunda (Chamorro et al., 2014). Esto permite que la siembra se pueda llevar a cabo a finales del rango de fecha de siembra óptima para las condiciones de Uruguay (mes de noviembre) o a inicios del rango de fecha de siembra tardía (mes de diciembre), lo que implica una serie de beneficios.

Como consecuencia de esto, la soja de segunda sembrada en chacras provenientes de cebada en el invierno podría encontrarse con un mejor ambiente de producción el cual estaría determinando rendimientos superiores respecto a la soja de segunda sembrada en chacras con trigo como antecesor invernal, siendo en esencia un efecto fecha de siembra y no un efecto del cultivo antecesor en sí.

Si bien a nivel nacional no existen estudios que hayan cuantificado y/o corroborado este efecto, en Argentina, más precisamente en la zona de Paraná, provincia de Santa Fe, se encontró que los rendimientos máximos de soja de segunda se producen en forma estable cuando esta se siembra durante el mes de noviembre y la primera quincena de diciembre, reduciéndose el rendimiento a razón de 50 kg ha^{-1} por cada día de atraso en la siembra a partir del 15 de diciembre (Peltzer, 2007). Para la localidad de Balcarce (ubicada más al Sur con respecto a Paraná) Calviño et al. (2003), Caviglia et al. (2004) encontraron reducciones de rendimiento similares para siembras más allá del 15 de diciembre.

Es aquí donde el efecto del antecesor sobre la fecha de siembra juega su papel, ya que, si bien en ambas localidades el rango de fecha de siembra óptimo para la soja de segunda es el mismo, la inclusión de cebada como antecesor invernal en la localidad situada más al Sur permitió adelantar la cosecha y así poder sembrar dentro del rango fecha de siembra óptimo señalado anteriormente. Es decir, para una localidad en particular o para una determinada condición ambiental, la elección por uno u otro antecesor invernal (cebada en lugar de trigo en este caso), tendría un impacto significativo sobre el rendimiento de la soja de segunda.

Chamorro et al. (2014) encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos obtenidos en soja de segunda a partir de diferentes antecesores invernales evaluados. Los rendimientos más altos fueron obtenidos cuando los antecesores fueron colza y cebada, y esto nuevamente estuvo asociado al efecto fecha de siembra.

En este sentido, la cebada como antecesor no mostró diferencias respecto del trigo en cuanto a la duración del período crítico (R4-R6), pero si permitió que la ubicación de dicho período ocurriese un mes antes (febrero) donde la oferta ambiental en cuanto a las condiciones de radiación, temperatura y la disponibilidad hídrica fueron mejores y fueron determinantes en la obtención de rendimientos superiores. En definitiva, la soja que sucedió a la cebada como antecesor logró un alto número de granos por vaina, y a su vez un mayor número de granos m^{-2} (principal componente del rendimiento), conjuntamente con un alto peso individual de los mismos (segundo componente en importancia del rendimiento).

En síntesis, la cebada como antecesor invernal estaría permitiendo una siembra más temprana de la soja de segunda, lo que en muchos casos implica la posibilidad de sembrar en fecha óptima o en su defecto en fechas de siembra no muy tardías. Esto determina que el período más crítico para la determinación del rendimiento en soja (R4-R6) se ubique temporalmente en un momento donde las condiciones de radiación, temperatura y disponibilidad hídrica son potencialmente mayores, lo que estaría determinando mayores rendimientos en grano.

2.2.2. Disponibilidad inicial de agua

Cuando se llevan a cabo sistemas de producción que incluyen el doble cultivo anual, el agua disponible a la siembra del cultivo de verano de segunda es el residuo del consumo realizado por el cultivo de invierno y depende de la cantidad y distribución de lluvias durante el último mes de la estación de crecimiento (Ernst et al., 2009). En consecuencia, en los cultivos de verano de segunda siempre existe una dependencia de las lluvias ya que el cultivo de invierno en la mayoría de los años entrega el suelo con baja disponibilidad de agua a la siembra, aun así, no necesariamente esto implica que los rendimientos que se obtienen son inferiores a los cultivos de primera que se inician sobre un perfil a capacidad de campo, en especial si la capacidad de almacenaje del suelo es baja (Ernst et al., 2009).

En este sentido, el contenido de agua en el suelo al momento de la siembra de la soja de segunda, debido a lo señalado anteriormente con respecto al largo del ciclo y por ende al momento de cosecha de la cebada, muestra que existe una tendencia a mayores disponibilidades hídricas al inicio del cultivo de soja cuando este se siembra en chacras provenientes de cebada con respecto a las chacras con trigo como antecesor invernal (Albrecht et al., 2010).

La información existente presenta resultados contrapuestos en este sentido. Por un lado, existen estudios en los que se hallaron diferencias en la disponibilidad hídrica inicial y que a su vez estas conllevaron a diferencias significativas entre ambos antecesores en el rendimiento de la soja de segunda, mientras que por otro lado existen otros estudios que demuestran que las diferencias en la disponibilidad hídrica al inicio del cultivo no reflejan diferencias posteriores en los rendimientos obtenidos.

Dentro del primer grupo de estudios, Albrecht et al. (2010) encontraron que la cebada como antecesor de invierno presentó una oferta hídrica 25 % superior a la del trigo al momento de la siembra de la soja y esto derivó en una diferencia de rendimiento en soja de segunda (403 kg ha^{-1}) entre ambos antecesores y a favor de la cebada como cultivo antecesor.

En esta misma línea, Coll et al. (2011) encontraron que cuando el antecesor era cebada, la disponibilidad hídrica al inicio del cultivo de soja fue mayor y por tanto con precipitaciones levemente superiores a 20 mm, que además ocurren todos los años en la zona de Paraná, se logró implantar muy bien el cultivo de soja dentro del rango de fecha óptima mencionado en el apartado anterior, mientras que cuando el antecesor era trigo, en un 20 % de los años esto no se logró, lo cual repercutió en los rendimientos obtenidos en esos años.

Por otra parte, dentro del segundo grupo de estudios Coll et al. (2011) en la provincia de Entre Ríos, donde las condiciones edáficas y ambientales son muy similares a las de Uruguay, no encontraron diferencias significativas entre distintas alternativas invernales (entre las que estaban trigo y cebada) en cuanto a la disponibilidad hídrica inicial para el cultivo de soja y su repercusión posteriormente en el rendimiento de la misma. Esto es debido a que pequeñas diferencias en el contenido total de agua en el suelo al momento de la implantación de la soja de segunda entre las distintas alternativas invernales, es poco probable que produjeran algún efecto en el rendimiento de soja de segunda, dada la tardía ocurrencia en el ciclo del cultivo del período crítico de determinación del rendimiento. Esto se debe a que diferencias de 52 mm de agua útil al momento de la siembra de la soja entre chacras que permanecieron en barbecho durante el invierno y chacras con distintos antecesores invernales para grano significaron tan solo 1 mm de diferencia a inicios del período crítico (R4) y por lo tanto los rendimientos obtenidos fueron similares (Peltzer, 2007).

Esto demuestra un consumo de agua similar por parte de los cultivos de invierno (trigo y cebada), y además que la ocurrencia en forma tardía del período crítico para la definición del rendimiento en la soja es poco afectada por la disponibilidad hídrica inicial. Esto concuerda con lo señalado por Ernst et al. (2009) sobre la disponibilidad hídrica (fundamentalmente dada por la ocurrencia de precipitaciones) durante el período crítico de los cultivos como una de las principales determinantes del rendimiento final.

2.2.3. Disponibilidad inicial de nitrógeno

Es conocido que la soja como especie leguminosa lleva adelante el proceso denominado fijación biológica de nitrógeno (FBN) a través del cual mediante una asociación de tipo simbiótica con microorganismos del género *rizhobium* le permite fijar el nitrógeno atmosférico y hacerlo disponible para su absorción a través de su sistema radicular. Este fenómeno se intensifica a partir del estadio R1, por tanto, la disponibilidad inicial de N-NO_3^- resulta fundamental para que el cultivo de soja no carezca de este nutriente en sus estadios iniciales, principalmente los vegetativos, pensando en una correcta implantación del cultivo y un desarrollo vigoroso de las plántulas (Lett et al., 1999).

En este sentido, el antecesor invernal define mediante su rendimiento tanto en biomasa como en grano el nivel de extracción de este nutriente del suelo. A su vez, a través de la cantidad y calidad del residuo de cosecha o rastrojo que permanece en la chacra, así como también del momento en que se cosecha el cultivo, define la disponibilidad de dicho nutriente en el suelo al momento de la siembra de la soja de segunda mediante la relación carbono/nitrógeno (C:N), la cual determina si domina el proceso de mineralización de la materia orgánica y por tanto la disponibilidad de N-NO_3^- es mayor, o si es el de inmovilización quien domina y por ende la disponibilidad de N-NO_3^- en el suelo es menor (Perdomo y Barbazán, 1999).

Por otra parte, Perdomo y Barbazán (1999) encontraron que la presencia de rastrojo en superficie incrementa la probabilidad de lixiviación del nitrógeno como consecuencia de un aumento en la proporción de macroporos, lo que determina que la cantidad de agua que infiltra en relación con la que escurre en el suelo sea mayor. Teniendo esto en cuenta, y además sabiendo que los rendimientos medios a nivel nacional tanto de cebada como de trigo son similares (3076 kg ha^{-1} y 3032 kg ha^{-1} para trigo y cebada respectivamente, para el período 2008-2016 (MGAP. DIEA, 2017) y que a su vez se trata de dos especies con un índice de cosecha en un rango de 0,38 a 0,42, el volumen de residuos o de rastrojo que dejan en la chacra ambos antecesores es muy similar.

En cuanto a la calidad del rastrojo tanto trigo como cebada presentaron un bajo porcentaje de nitrógeno en los residuos de cosecha, por lo que la relación C: N fue alta. Andrade (2017) determinó valores de contenido de nitrógeno en rastrojos de trigo y de cebada bajos, en el orden de 0,25 a 0,30%. Este hecho determinó la reducción en la tasa de mineralización y contrariamente el incremento en la inmovilización de nutrientes, lo que además redujo la absorción de nitrógeno por parte de los cultivos en crecimiento, en

este caso la soja de segunda (Andrade, 2017), por lo que en este aspecto tampoco habría diferencias entre ambos antecesores invernales.

2.2.4. Cantidad y calidad de luz

La respuesta de las plantas en función de la cantidad y de la calidad de luz que logran censar determina la arquitectura de las mismas y esto a su vez tiene implicancias en distintos componentes del rendimiento, como por ejemplo en el número de nudos por planta en el caso de la soja. En este sentido, la presencia de rastrojo sobre la superficie del suelo como producto de la implementación de la siembra directa en los sistemas de producción a nivel nacional, ha llevado a que tanto la cantidad como la calidad de luz que llega al estrato inferior del suelo, donde se produce el desarrollo inicial de las plántulas del cultivo en emergencia, sea menor en comparación con sistemas de labranza convencional y por tanto se produzcan cambios en la respuesta de las plantas y en la composición de la canopia.

En este sentido, Oreja y de la Fuente (2012) determinaron que la presencia de rastrojo reduce la relación rojo/rojo lejano (R/RL) tanto en especies gramíneas como en dicotiledóneas, y esto determina cambios morfogénicos importantes en las plantas. Por otra parte, Carmona (2013) determinó que un rastrojo de trigo o de cebada no absorbe la totalidad de la radiación que llega a la superficie del suelo, sino que refleja una porción de la misma de aproximadamente entre el 15 y el 20 %. Por lo tanto, no solo la presencia de rastrojo, sino que también el tipo de rastrojo que permanece sobre la superficie del suelo va a determinar la cantidad y calidad de luz para el cultivo que se va a implantar.

En los cereales, en este caso trigo y cebada que son el objeto de interés de este trabajo, la altura de corte al momento de la cosecha se relaciona con la altura de la planta madura, la disposición de la misma con respecto al suelo y con la cantidad de paja que se quiera introducir en la máquina; si el material a cosechar se encuentra volcado (como ocurre en muchos casos en el cultivo de cebada) la plataforma de corte se baja lo más posible, y se realiza la cosecha casi que al ras del suelo para minimizar la pérdida de espigas por el cabezal (Ruíz, 1983). En el caso del trigo, la disposición más erecta que presentan las plantas al momento de la cosecha determina una mayor altura de corte, ya que se intenta que la cuchilla de corte trabaje a unos 30 cm por debajo de la espiga y no más abajo, de esta manera se logra disminuir la relación paja/grano y se facilita la labor de trilla en el rotor o cilindro (Giordano et al., 2012).

De esta manera, comparativamente el trigo como antecesor invernal determina la permanencia de un rastrojo más alto que el de la cebada, lo cual implica una menor cantidad de radiación incidente al momento de la implantación de la soja de segunda y a su vez una menor calidad expresada a través de una menor relación R/RL. Este importante cambio en la cantidad y calidad de luz determina que las plantas adopten un porte más erecto y que a su vez las hojas se dispongan a mayor altura dentro del tapiz vegetal, así como también a una menor producción de hojas a partir de ramificaciones ubicadas en la base de las plantas (Carmona, 2013).

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, la forma en que componga la arquitectura de planta el cultivo de soja de segunda que se implante después de uno u otro antecesor invernal seguramente sea diferente. En el caso del rastrojo de trigo, la menor cantidad y a su vez peor calidad de luz debida al mayor sombreado seguramente determinen un tipo de planta de soja más alta, con tallo más delgado y menos resistente, como producto de una mayor competencia por luz entre plantas vecinas.

Este crecimiento en forma ascendente por parte de las plantas en procura de interceptar más y mejor calidad de luz determina un mayor tiempo para el cierre de la entrefila, una demora en alcanzar el IAF crítico (valor de IAF que implica un 95% de radiación incidente interceptada), el cual en soja oscila entre 3,1 y 4,5 (Board y Harville, 1992) y por ende una menor interceptación de luz por parte del cultivo, lo que determina una reducción en la tasa de crecimiento del cultivo, reducción en la producción de biomasa, afectando en forma significativa el rendimiento en grano (Bodrero et al., 1997).

A su vez, el hecho de priorizar el crecimiento de la parte aérea de la planta por sobre el crecimiento radicular, fundamentalmente en los primeros estadios de desarrollo del cultivo que es donde se produce la mayor tasa de crecimiento de raíces (Mitchel y Russel, 1971), vuelve más susceptible a la soja de segunda a condiciones de estrés hídrico que pudiesen ocurrir a lo largo del ciclo del cultivo y afectar el rendimiento.

2.2.5. Alelopatía

La alelopatía puede definirse como el grado de inhibición del crecimiento de una planta sobre otra, entre especies diferentes y entre cultivares de una misma especie, debido a la liberación de compuestos químicos o metabolitos secundarios denominados aleloquímicos (Guenzi et al., 1967). La liberación de estos compuestos al ambiente depende de su naturaleza química, y existen cuatro vías principales de liberación: volatilización, lixiviación, exudados radiculares y descomposición de residuos vegetales (Sampietro, 2003).

Vidal y Troncoso (2003) demostraron que estos compuestos son lixiviados al suelo provocando problemas de emergencia y muerte de plántulas en los cultivos siguientes a trigo o a cebada en la rotación, dentro de los cuales ingresa el cultivo de soja. Los rastrojos de cereales menores como centeno, cebada, trigo, triticale y avena generan compuestos aleloquímicos, principalmente durante los primeros procesos de descomposición de sus rastrojos. En el caso del trigo, Wu et al. (2000) sostienen que la mayor actividad alelopática ocurre en dos momentos del ciclo del cultivo: en primer lugar, en etapas tempranas, donde ocurre en forma directa a través de exudados radiculares, y en segundo lugar después de la cosecha, a través de la lixiviación de aleloquímicos durante la descomposición de los residuos del cultivo.

Blum (1996) determinó que el principal efecto que producen los mencionados compuestos y que derivan en la inhibición o cese del crecimiento de plántulas, así como también en la muerte de las mismas parecería ser una reducción en la conductividad hidráulica y la absorción neta de nutrientes por parte de las raíces.

La presencia de sustancias alelopáticas tanto en trigo (ácidos hidroxámicos) como en cebada (hordeninas) ha sido ampliamente reportada, así como también el efecto benéfico de las mismas en el control de malezas (Olofsdotter, 2010). Aun así, dichas sustancias pueden causar daños no solo a especies que no son de interés productivo como las malezas, sino que también a especies de interés como lo son los cultivos.

A pesar de lo señalado anteriormente, existe variación en la sensibilidad a la alelopatía de los rastrojos originados por cultivos de invierno por parte del cultivo de soja. Es así como cultivares de soja presentan una mayor o menor reducción de su biomasa ante la presencia de rastrojos de trigo, dejando de manifiesto la posibilidad de seleccionar cultivares de soja más adaptados para siembras de segunda después de trigo (Herrin et al., 1986). El potencial

alelopático de los rastrojos cambia durante la descomposición a campo y, además, cambia con la especie, es así como el rastrojo de trigo tiene un valor máximo de toxicidad a las cuatro semanas, perdiendo su efecto después de ocho semanas de iniciada la descomposición (Guenzi et al., 1967).

En general los rastrojos de cereales de invierno son fuertemente alelopáticos. Dichos rastrojos y en especial el de trigo están compuestos en un 75% por caña y capotillo (glumas y aristas de las espiguillas), estructuras que poseen mayor contenido de carbono estructural y lignina por lo que su descomposición es más lenta. El capotillo es el tejido con mayor efecto alelopático. Este tejido se acumula a la salida de las cosechadoras, por lo que es importante dispersarlo en el campo (Acevedo y Silva, 2003).

Acevedo y Silva (2003) demostraron que el efecto alelopático de los rastrojos sobre el suelo depende, en gran medida, del grado de descomposición que tengan los rastrojos antes de sembrar el próximo cultivo. Manejos como picar y distribuir uniformemente los rastrojos, regar y aplicar nitrógeno pueden acelerar la descomposición de los rastrojos y con ello pueden disminuir su efecto alelopático. El barbecho también puede reducir los efectos alelopáticos por la descomposición que ocurre durante este período de los residuos vegetales.

Para evitar la presencia de aleloquímicos puede retrasarse la fecha de siembra hasta después que hayan ocurrido lluvias que permitan la descomposición de los rastrojos junto con la solubilización y lixiviado de estos compuestos (Acevedo y Silva, 2003). En este sentido, el tiempo que transcurre entre la cosecha del cultivo de invierno y la siembra del cultivo de verano de segunda, así como la cantidad de precipitaciones ocurridas en este período, son las principales variables de manejo para el problema de alelopatía (Ernst y Siri Prieto, 1995).

Por otra parte, se demostró que existe una estrecha correlación entre la producción de aleloquímicos y la cantidad de biomasa del cultivo, de esta manera altos rendimientos de los cultivos aumentan los problemas alelopáticos de sus rastrojos en condiciones de campo (Acevedo y Silva, 2003). A pesar de esto, Almeida (1991) demostró que para que exista efecto alelopático sobre el cultivo que sigue en la rotación, no es necesario tener grandes volúmenes de residuos de trigo o de cebada, sino que dichos residuos presenten los compuestos aleloquímicos perjudiciales para las especies invasoras (incluida la especie de interés como sería en este caso soja), y que los mismos sean liberados al suelo en las concentraciones suficientes para inhibir su desarrollo.

Esto lleva a pensar que aun así con bajos volúmenes de rastrojo como podría ocurrir en el caso de un bajo rendimiento del cultivo de invierno antecesor, una remoción o de una veloz degradación producto de una cosecha más precoz, no necesariamente implica la no ocurrencia de problemas en la implantación del cultivo de verano de segunda producto de alelopatía por sustancias fitotóxicas presentes en los rastrojos de los predecesores trigo o cebada.

En lo que respecta a la capacidad alelopática de uno u otro antecesor invernal, Bertholdsson (2005) en un estudio conducido en Suecia utilizando una gran diversidad de cultivares buscó caracterizar tanto cebada como trigo durante 4 y 2 años respectivamente, en función de su capacidad competitiva sobre raigrás (*Lolium multiflorum*). En el caso de la cebada la actividad alelopática explicó entre el 7 y 58% de la varianza genotípica observada en el efecto supresor del raigrás entre los distintos cultivares evaluados, mientras que para el caso del trigo la actividad alelopática representó entre 0 y 21% de la variación.

Por otra parte, el potencial alelopático tanto de cebada (Christensen 1995, Bertholdsson 2004, 2005, 2007, Watson et al. 2006) como de trigo (Wu et al., 2000) muestra una importante variación entre cultivares. En este sentido, Chiola y Mora (2011) determinaron que los cultivares de cebada Guaviyú, Carumbé y Arrayán disminuyeron la interferencia inicial de raigrás, determinándose un menor desarrollo y producción de biomasa de la maleza creciendo junto a estos cultivares, mientras que el cultivar CLE 202 logró los valores más bajos de supresión.

Por otra parte, Rouiller y Scaglia (2011) determinaron que los cultivares de trigo Baguette 11 y Don Alberto se mostraron como los cultivares con mayor capacidad de supresión temprana de raigrás, mientras que el cultivar Nogal fue el menos supresor. A su vez, el efecto supresor mostrado por Don Alberto se explica por su elevado crecimiento inicial y producción de biomasa y no así por su capacidad alelopática, mientras que en el caso de Baguette 11 fue la capacidad alelopática del cultivar la responsable de la supresión de la maleza.

Si bien las investigaciones sobre el potencial alelopático tanto de trigo como de cebada se centran en la capacidad supresora de especies de malezas y no de especies de interés productivo como sería la soja de segunda en este caso, es importante tener presente que la implantación del mencionado cultivo puede verse afectada por esta característica expresada por ambos antecesores de invierno.

En síntesis, la cantidad de compuestos alelopáticos presente en los residuos de cosecha de un cultivo y por ende el potencial alelopático del mismo depende en primer lugar de la especie vegetal y del cultivar, en segundo lugar de la producción de biomasa de ese cultivo y cuanto de esa biomasa corresponde a grano y cuanto a residuos de cosecha, por otra parte de la localización en la planta de dichos compuestos, es decir en que estructura morfológica se encuentra y que proporción de la planta representa dicha estructura, y por último del tipo de compuesto que se trate ya que esto en parte determina las condiciones necesarias para su liberación.

Existen algunas evidencias que señalan que siembras entre las hileras del cultivo anterior pueden permitir una mayor germinación y peso de plántulas que la siembra realizada sobre la hilera. Por su parte, la edad de la semilla también tiene un efecto sobre la tolerancia del cultivo a los rastrojos, siendo las semillas más recientes, de uno y dos años más tolerante que las de tres años, mientras que, por otra parte, el tamaño de la semilla, no influye en una mayor o menor tolerancia a los aleloquímicos (Acevedo y Silva, 2003).

Finalmente, luego de haber examinado la información existente sobre el efecto del trigo y de la cebada como antecesores de invierno sobre el rendimiento del cultivo en cuestión es que surge como hipótesis principal del siguiente trabajo que el cultivo de soja de segunda tiende a presentar mayores rendimientos en grano cuando se siembra sobre el rastrojo de un cultivo de cebada que cuando lo hace sobre un rastrojo de trigo, pero que no hay un efecto *per se* del cultivo antecesor, sino que la siembra de la soja se realiza más temprano en la estación sobre cebada que sobre trigo, siendo básicamente un efecto fecha de siembra y no un efecto antecesor. Esto significa que, de todos los factores discutidos en este capítulo y que fueron contrastados para ambos antecesores de invierno, la fecha de siembra estaría siendo el factor determinante de las diferencias en rendimiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. BASE DE DATOS

Para este trabajo se utilizó una base de datos con registros de productores CREA de 7 zafras (período 2009-2016) que contiene información sobre el manejo efectuado en las chacras donde se sembró soja de segunda. Dicha base de datos cuenta con información básica de las chacras como por ejemplo el productor a cargo de la misma y el grupo CREA al cual pertenece, su ubicación dentro de una zona agroclimática, superficie, entre otros, así como también la totalidad de las medidas de manejo efectuadas sobre las mismas (fecha y densidad de siembra de los cultivos, distancia entre hileras utilizada, cultivar, cultivos antecesores, manejo de nutrientes, control de malezas, plagas y enfermedades, etc.), así como los rendimientos obtenidos.

Como la información se encontraba dispersa, una vez compilada la misma, se llevó a cabo el filtrado de la base de datos. En este sentido, dado que el objetivo es evaluar el impacto del antecesor invernal trigo o cebada, se eliminaron las chacras con otro antecesor. Por otra parte, como la base de datos contiene información de todo el país, pero la misma es más abundante para las zonas litoral Norte (Paysandú y Río Negro) y litoral Sur (Soriano, Colonia y San José), se centró el análisis sobre estas zonas, no teniéndose en cuenta la zona centro (Durazno, Flores y Norte de Florida), Noreste (Treinta y Tres) ni la Sureste (Sur de Florida, Maldonado y Canelones) por considerarse poco representativas debido al bajo número de chacras con soja de segunda con los antecesores invernales anteriormente citados (zona centro), o por el bajo número de productores que a su vez no todos los años sembraron soja de segunda, tratándose de zonas donde no se siembra en forma habitual este cultivo (zona Noreste y Sureste).

A su vez se eliminaron aquellas chacras con fecha de siembra anterior al mes de noviembre o posterior al 15 de enero, o aquellas que no tuviesen el dato de fecha de siembra a pesar de tener como antecesor invernal trigo o cebada. Finalmente se seleccionaron las chacras con rendimiento de soja de segunda mayor a 1000 kg ha^{-1} , por considerar que rendimientos menores a dicho valor fueron limitados por otros factores, ajenos a los que se intentan analizar en el presente trabajo, y además que no se trata de rendimientos típicos de los que se obtienen en ambas zonas, obteniéndose al final de la aplicación de los distintos criterios de filtrado anteriormente mencionados un total de 1922 registros de rendimiento, a partir de los cuales se procedió a realizar el análisis pertinente (Cuadro 1).

Cuadro No. 1. Número de chacras en función del antecesor invernal para las dos zonas delimitadas durante el período 2009-2016.

Zafra	Antecesor	Zona		Total
		Litoral Norte	Litoral Sur	
2009/10	Trigo	71	105	176
	Cebada	17	50	67
2010/11	Trigo	60	68	128
	Cebada	22	9	31
2011/12	Trigo	124	189	313
	Cebada	26	54	80
2012/13	Trigo	54	110	164
	Cebada	30	39	69
2013/14	Trigo	96	245	341
	Cebada	24	74	98
2014/15	Trigo	85	153	238
	Cebada	23	40	63
2015/16	Trigo	23	90	113
	Cebada	11	30	41
	Total	666	1256	1922

Se puede observar en detalle el número de chacras con soja de segunda para las dos zonas (litoral Sur y litoral Norte) en cada una de las 7 zafras que comprenden el período bajo análisis. Si bien se cuenta con información para las siete zafras en la zona centro, dicha zona presenta valores muy bajos de chacras para alguna de las zafras en cuestión, por ejemplo, en el caso de la zafra 2013/2014 para el antecesor cebada, y por tanto se procedió a eliminar esta zona, permaneciendo las zonas litoral Norte y litoral Sur, las cuales componen los 1922 registros de rendimiento de soja de segunda con los que se cuenta para el análisis.

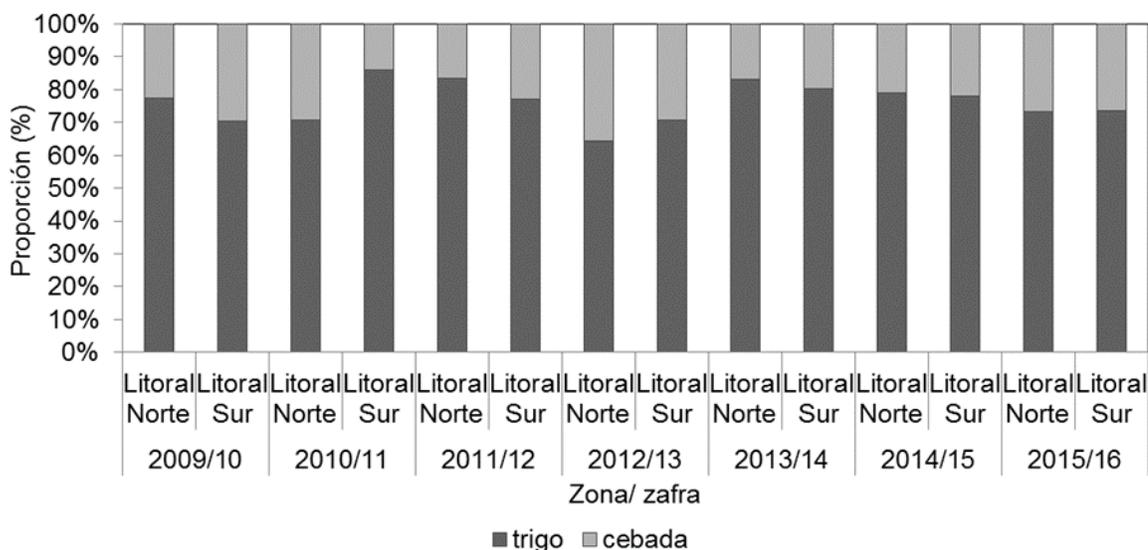


Figura No. 1. Distribución de la superficie sembrada de soja de segunda en función del antecesor invernal para las dos zonas delimitadas durante el período 2009-2016.

Por otra parte, se destaca la prevalencia que tiene el cultivo de trigo como antecesor invernal tanto en la zona litoral Norte como en la litoral Sur y en cada una de las safras (Figura 1). Este hecho no es menor, ya que a los efectos del análisis demanda la necesidad de efectuar algún tratamiento alternativo de los datos para que ambos antecesores invernales puedan ser comparables (ver apartado 3.3 en esta misma sección).

3.2. EFECTO DEL ANTECESOR DE INVIERNO SOBRE EL RENDIMIENTO

Teniendo en cuenta que la hipótesis de la cual parte el presente trabajo sostiene la existencia de un efecto diferencial en el rendimiento de la soja de segunda entre los antecesores de invierno evaluados, resulta pertinente en primer lugar analizar y comprobar la existencia de tal efecto, y en caso de que este exista poder cuantificarlo.

Para ello, se llevó a cabo la técnica de remuestreo o muestreo aleatorio con reposición de datos utilizando el software InfoStat con el objetivo de generar una nueva base de datos con la misma cantidad de chacras con antecesor trigo y cebada, con el propósito de disminuir el efecto de seleccionar las mejores chacras con uno u otro antecesor, como podría estar ocurriendo en el caso del antecesor cebada, en perjuicio del antecesor trigo y que de esta manera puedan ser comparables ambos antecesores en cada zona.

El muestreo se realizó 1000 veces para cada una de las zonas, aplicando como pauta el número de chacras con antecesor cebada para definir el tamaño de la muestra de cada cultivo en cada zona y cada muestreo, ya que es el antecesor con menor cantidad de chacras en ambas zonas, 153 en la zona litoral Norte y 296 en la zona litoral Sur. De esta manera, quedaron 1000 muestras donde en cada una de ellas hay 153 datos simulados con rendimiento obtenido sobre antecesor trigo y el mismo número con antecesor cebada para la zona litoral Norte y 296 datos para la zona litoral Sur.

Una vez generada la nueva base de datos se llevó a cabo el análisis de varianza mediante el software SAS utilizando los valores promedio de rendimiento relativo (variable dependiente) en función de cada antecesor invernal para las dos zonas (variables de clasificación). Mediante este análisis se estudió en primer lugar el efecto antecesor sobre el rendimiento del cultivo y seguidamente la interacción entre el antecesor y la muestra. El cometido de este análisis fue comprobar si existe alguna diferencia en el rendimiento de la soja de segunda que pueda atribuirse al antecesor de invierno, y si dicho comportamiento ocurre en forma consistente durante el período de tiempo analizado, además de que pueda ser asociado a una zona en particular de las dos que fueron evaluadas. Por otra parte, cuando se analiza si existe o no interacción entre la muestra y el antecesor, en caso de que dicha interacción no exista puede afirmarse que la elección de chacras no ha sido un problema, lo que en términos prácticos implica que no se estaría favoreciendo o perjudicando a uno u otro antecesor al momento de seleccionar las chacras para realizar el análisis estadístico correspondiente.

Finalmente, de existir un efecto del antecesor de invierno sobre el rendimiento de soja de segunda se procederá a cuantificar el mismo, así como también a determinar si dicho efecto ocurre en ambas zonas evaluadas o si puede atribuirse a una zona en particular.

3.3. FECHA DE SIEMBRA Y RENDIMIENTO

Una vez determinada la existencia de efecto antecesor y luego de cuantificar dicho efecto se procederá a analizar el principal factor al cual se le adjudican dichas diferencias, la fecha de siembra del cultivo en función de uno u otro antecesor.

En este sentido, teniendo en cuenta que la hipótesis de trabajo sostiene que la cebada como antecesor invernal permite siembras más tempranas del cultivo con respecto al trigo, se procedió en primer lugar a analizar la distribución de la fecha de siembra durante el período analizado (2009-2016), sin efectuar una separación por zona y distinguiendo entre ambos antecesores

invernales que son objeto de interés de este trabajo. Esto permitió visualizar en forma gráfica para cada zafra en particular si uno u otro antecesor manifiesta alguna tendencia sobre el hecho de permitir siembras más tempranas de la soja de segunda, y si esa tendencia se muestra en forma sostenida durante las sucesivas zafras.

Seguidamente se analizó la respuesta en rendimiento de la soja de segunda en función de la fecha de siembra del cultivo, evaluando en primer lugar el rendimiento relativo en función de la fecha de siembra, sin diferenciar entre zafras, y posteriormente el rendimiento real del cultivo en función de la fecha de siembra, evaluando cada zafra en particular. El rendimiento relativo se obtuvo a partir del cociente entre el rendimiento real de cada chacra y la media de rendimiento para cada zona y cada zafra en particular, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{rendimiento relativo} = \frac{\text{rendimiento real chacra } x}{\text{rendimiento promedio zona } "y"; \text{ zafra } "z"}$$
, siendo "x" una de las 1922 chacras que componen la nueva base de datos, siendo "y" la zona (litoral Sur o litoral Norte) y siendo "z" una zafra en particular del período 2009-2016.

El propósito principal de dicho análisis fue identificar una respuesta clara o al menos una tendencia en cuanto a la evolución del rendimiento del cultivo en función de la fecha de siembra, así como también identificar diferencias entre los antecesores evaluados, diferencias entre años, diferencias entre zonas, o incluso la existencia de algún tipo de relación entre las variables mencionadas, por ejemplo, disminuciones en el rendimiento a partir de cierta fecha de siembra para el caso de uno u otro antecesor, a su vez si este comportamiento ocurre de manera sostenida en el tiempo, y si además puede estar asociado a una u otra zona en particular, etc.

Como paso siguiente, en un análisis un poco más detallado se procedió a dividir la fecha de siembra en forma decádica y a calcular la media, la mediana, el percentil 10 (P10) y el percentil 90 (P90), para ambas zonas en el conjunto de datos que comprenden el período evaluado, como una forma de encontrar algún tipo de respuesta a la fecha de siembra y a su vez poder complementar el análisis anterior.

3.4. MANEJO DE NUTRIENTES EN FUNCIÓN DEL ANTECESOR

Una vez evaluado el efecto de la fecha de siembra se llevará a cabo el análisis de uno de los factores de manejo que además de la fecha de siembra podría ser el responsable de un rendimiento diferencial en la soja de segunda en función del antecesor de invierno, como lo es el manejo de nutrientes (fósforo y potasio) para uno u otro antecesor, permitiendo esto determinar si un mayor o menor rendimiento de la soja de segunda en el caso de un determinado antecesor de invierno puede ser producto de un mayor o menor agregado de los mencionados nutrientes en las chacras con dicho antecesor de invierno.

3.4.1. Agregado de fósforo y potasio

En este sentido, para analizar el manejo de fósforo y potasio llevado a cabo por parte de los productores se procedió primeramente a realizar un análisis a nivel macro donde se decidió evaluar el nivel de agregado de estos nutrientes para ambos antecesores con el propósito de encontrar alguna diferencia a modo de tendencia en la forma en que se fertilizaron las chacras con uno u otro antecesor invernal y para ello se utilizaron los valores promedio de agregado tanto de fósforo como de potasio.

3.4.2. Rendimiento y estrategia de fertilización en función del agregado de fósforo y potasio distinguiendo entre chacras con y sin valor de análisis de suelo

Posteriormente se procedió a realizar un análisis más en detalle y para ello se efectuó la separación de las chacras en dos grupos: el primer grupo estuvo conformado por aquellas chacras en las que se realizó análisis de suelo, mientras que el segundo grupo fue conformado por las chacras en las que no se contaba con valores de análisis de suelo para los nutrientes en cuestión. Seguidamente se construyeron gráficos de dispersión, utilizando como variable dependiente en el eje de ordenadas el rendimiento relativo de la soja de segunda y como variable independiente en el eje de abscisas el total de nutriente disponible para el cultivo.

Para la obtención de este último se procedió a sumar al valor del nutriente en el suelo (tomado a partir de los valores de análisis de suelo) la dosis aplicada de dicho nutriente, siendo esta última valorada mediante el concepto conocido como equivalente en fertilizante, es decir los kilogramos de nutriente necesarios para “subir” una unidad de nutriente en el suelo (en el caso del fósforo dicho valor corresponde a 10 Kg de P_2O_5 y en el caso de potasio a 117 Kg de K_2O). Por lo tanto, en definitiva, se efectuó la suma del valor de

análisis (ej. 10 ppm de P Bray en el suelo) y la dosis aplicada (ej. 60 Kg agregados de P_2O_5 , equivalen a 6 ppm de P Bray), obteniéndose en este caso a modo de ejemplo un nivel total de nutriente de 16 ppm.

Por su parte, dentro del grupo de chacras que no contaba con valores de análisis de suelo solo se utilizó la dosis de nutriente aplicada para evaluar el manejo de cada nutriente, nuevamente teniendo en cuenta el concepto de equivalente en fertilizante citado anteriormente. Además, con el propósito de determinar y poder mostrar la decisión de fertilización llevada a cabo por los productores se realizó el agrupamiento de las chacras según las unidades de nutriente agregado para ambos antecesores evaluados y se mostró la proporción que representaba cada de una de ellas.

Siguiendo la misma línea de trabajo se procedió a analizar la estrategia de fertilización llevada a cabo por parte de los productores tanto en el caso de fósforo como de potasio, en búsqueda nuevamente de alguna tendencia particular para alguno de los antecesores o de las zonas evaluadas que pudiese estar explicando las diferencias en rendimiento de la soja de segunda en función del antecesor de invierno. En este sentido el cometido de este análisis fue encontrar diferencias entre antecesores de invierno en cuanto al ajuste de los nutrientes en cuestión, considerando como manejo correcto el nivel de agregado o la disponibilidad total de nutriente en el suelo por encima del nivel crítico, tomando en el caso de fósforo el valor de 13 ppm de P Bray 1 como nivel crítico y en caso de potasio el valor de 0,34 meq/100 g suelo.

3.4.3. Rendimiento en función del agregado de fósforo y potasio en chacras con valor de análisis de suelo y disponibilidad total de nutriente en suelo por encima del nivel crítico

Como último paso en el análisis del manejo de nutrientes se seleccionaron aquellas chacras que contaban con valores de análisis de suelo para ambos nutrientes y en las que la disponibilidad total de nutriente en el suelo (valor de análisis + unidades agregadas de nutriente) se encontraba por encima de los niveles críticos anteriormente citados. Una vez hecho esto y eliminado el efecto del manejo de nutrientes entre antecesores por el hecho de comparar chacras con ambos antecesores con un ajuste correcto de nutrientes se analizó nuevamente la respuesta en rendimiento a la fecha de siembra, con el propósito de encontrar diferencias entre los antecesores evaluados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFECTO DEL ANTECESOR DE INVIERNO SOBRE EL RENDIMIENTO

Los resultados del análisis de varianza indican que en la zona litoral Sur existen diferencias estadísticamente significativas en rendimiento de la soja de segunda a consecuencia del antecesor invernal, no siendo significativo en la zona litoral Norte (Cuadro 2; Figura 2).

Cuadro No. 2. Análisis de la varianza para la variable rendimiento de soja de segunda en función del antecesor invernal para la zona litoral Norte y litoral Sur, período 2009-2016.

	Source	DF	Anava SS	CME	F Value	Pr>F
Litoral Norte	Muestra	999	75,1275	0,0752	1,07	0,0752
	Antecesor	1	0,1243	0,1243	1,76	0,1846
	Mues.*ant.	999	74,8103	0,0749	1,06	0,0899
Litoral Sur	Muestra	999	74,1000	0,0742	0,97	0,734
	Antecesor	1	6,6116	6,6116	86,61	<0,0001
	Mues.*ant.	999	77,3482	0,0774	1,01	0,3702

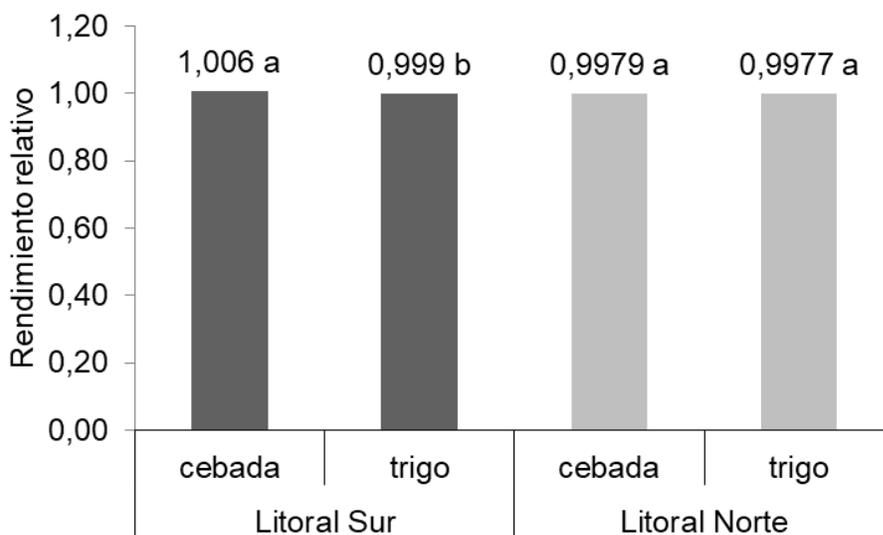


Figura No. 2. Rendimiento relativo de la soja de segunda en función del antecesor invernal durante el período 2009-2016 para la zona litoral Sur y litoral Norte.

En la zona litoral Sur existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de soja de segunda a favor de la cebada como antecesor invernala durante el período de tiempo analizado (Figura 2), y en el 62% de los casos el rendimiento sobre dicho antecesor fue mayor que sobre el antecesor trigo (Figura 3).

Esta superioridad manifiesta en el rendimiento de soja de segunda por parte del antecesor cebada en el caso de la zona litoral Norte no ocurre, ya que solo en el 52% de los casos es mayor el rendimiento sobre cebada como antecesor invernala, razón por la cual no resulta preciso atribuirle una superioridad a uno u otro antecesor en esta zona (Figura 3).

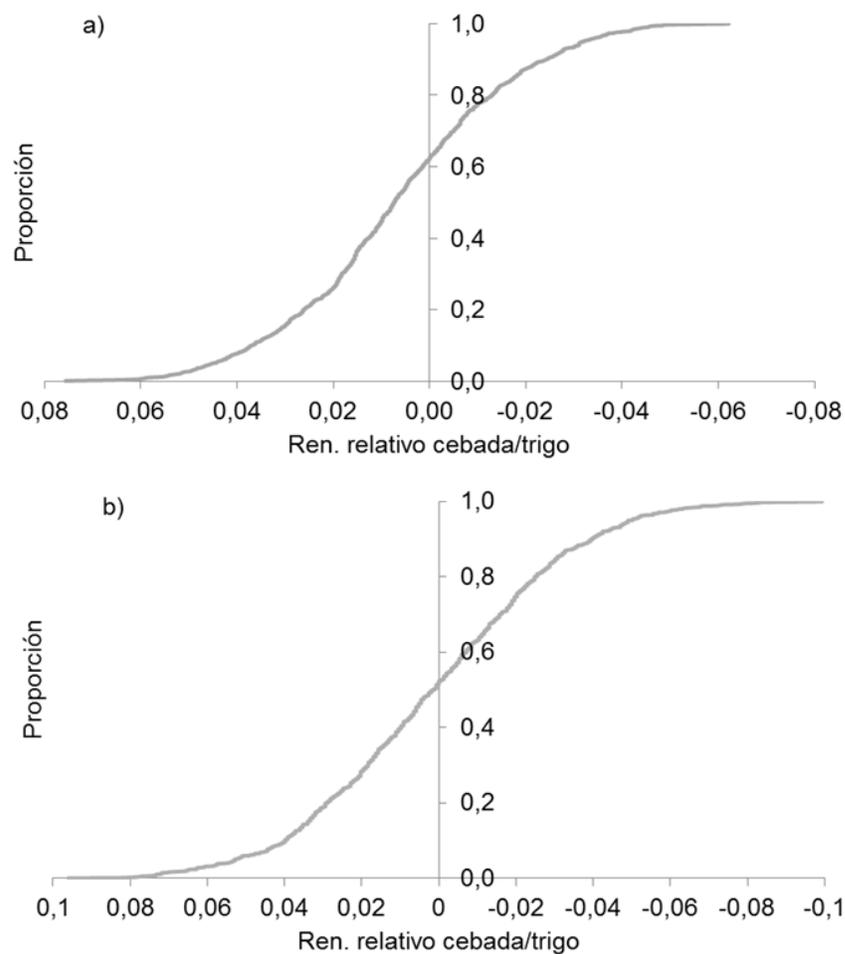


Figura No. 3. Proporción de rendimiento relativo de cebada sobre rendimiento relativo de trigo para la zona litoral Sur (a) y litoral Norte (b), período 2009-2016.

Por otra parte, si se toma como referencia el rendimiento promedio del cultivo de soja de segunda obtenido para la base de datos evaluada (2100 kg ha^{-1}) se puede determinar entonces que la diferencia de rendimiento encontrada entre ambos antecesores de invierno corresponde en promedio a 12 kg ha^{-1} , con un máximo de 126 kg ha^{-1} (6%). De esta manera se puede apreciar la muy baja magnitud de dicha diferencia en rendimiento, y por lo tanto en términos prácticos podría sostenerse que tal diferencia no existe, o en su defecto el impacto que puede llegar a tener en los sistemas productivos resultaría poco relevante.

Haciendo caso omiso a lo expresado anteriormente y teniendo en cuenta solamente la existencia de diferencias significativas en términos estadísticos en cuanto al rendimiento de soja de segunda, atribuibles al antecesor invernal, para la zona litoral Sur, el análisis a partir de ahora hará hincapié en el abordaje de los factores que podrían estar haciendo posible dicha diferencia en rendimiento, la fecha de siembra del cultivo y el manejo de los nutrientes fósforo y potasio en el caso del antecesor trigo y del antecesor cebada.

4.2. FECHA DE SIEMBRA Y RENDIMIENTO

Dado que la hipótesis principal del presente trabajo es que el cultivo de soja de segunda tiende a rendir más cuando es sembrado sobre el rastrojo de un cultivo de cebada que sobre un rastrojo de trigo y esta diferencia se debe principalmente a la fecha de siembra anterior del cultivo de soja sobre cebada, resulta relevante determinar si efectivamente existe una diferencia en cuanto a la fecha de siembra del cultivo que permite uno u otro antecesor de invierno.

Al analizar el cultivo antecesor de invierno como determinante de la fecha de siembra de la soja de segunda, comparando trigo contra cebada dentro de una misma zafra, no existieron grandes diferencias en cuanto a la evolución de la proporción de área sembrada. La diferencia máxima se encontró en la zafra 2012/2013, donde al 21 de noviembre se había realizado la siembra del 62 % del área sobre rastrojo de cebada y de sólo el 24% del área sobre rastrojo de trigo. Esta diferencia pierde importancia en la zafra, ya que al 1 de diciembre esas diferencias se redujeron (80% vs. 70% del área sembrada para rastrojo de cebada y trigo, respectivamente, Figura 4).

Esto significa que salvo en excepciones, para el período evaluado no estarían existiendo diferencias sustanciales en cuanto a la fecha de siembra promedio de la soja de segunda determinadas por uno u otro antecesor de invierno. Por tanto, no cabe esperar diferencias en el rendimiento de soja de segunda atribuibles a un retraso de la fecha de siembra definido por el cultivo antecesor.

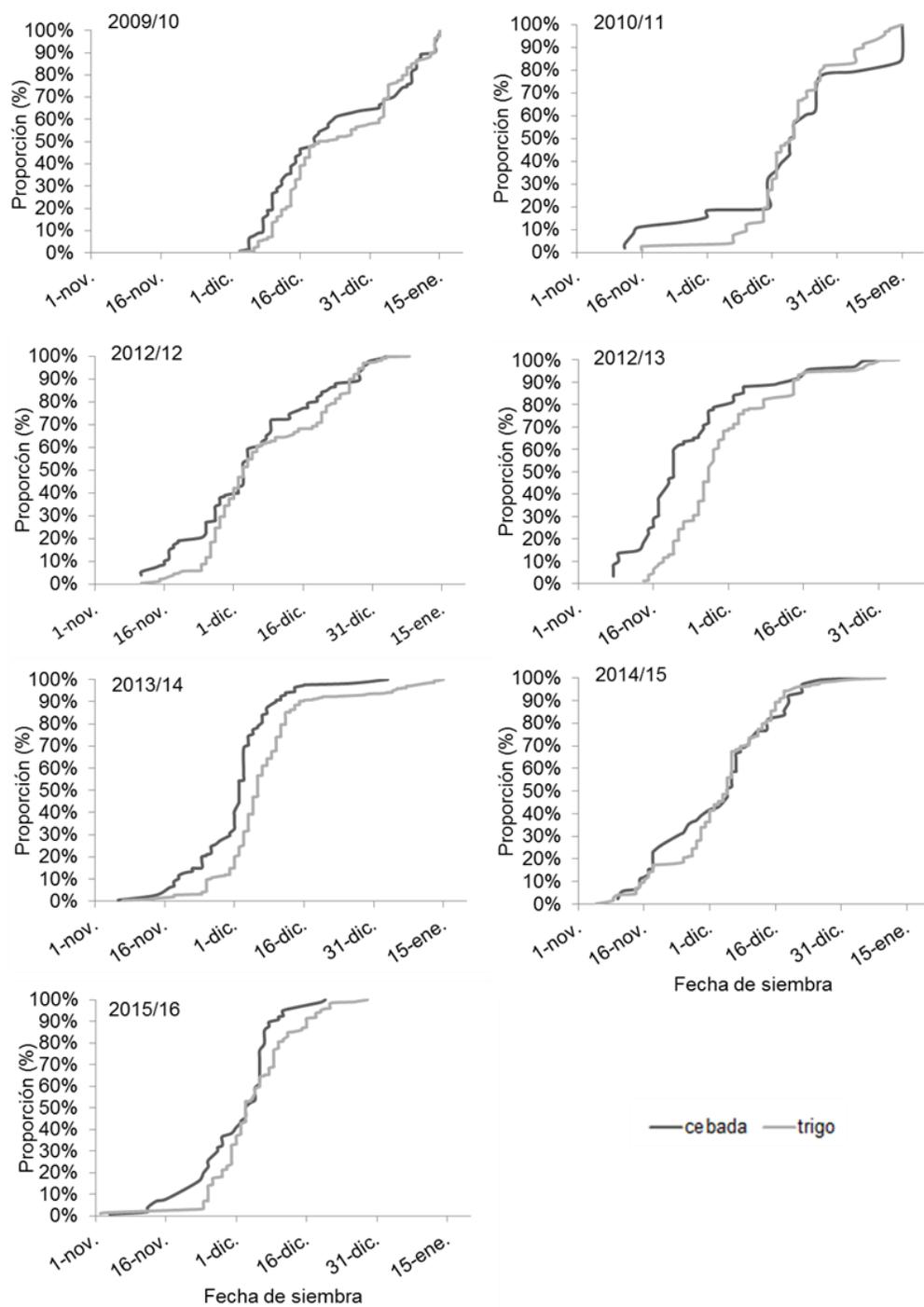


Figura No. 4. Proporción acumulada de chacras sembradas con soja de segunda en función de la fecha de siembra para ambos antecesores de invierno, sin distinguir entre zonas, durante el período 2009-2016.

Una vez demostrado que no existieron grandes diferencias entre antecesores en cuanto a la fecha de siembra del cultivo de segunda, en este caso la soja, se analizó la respuesta en rendimiento del cultivo en función de la fecha de siembra.

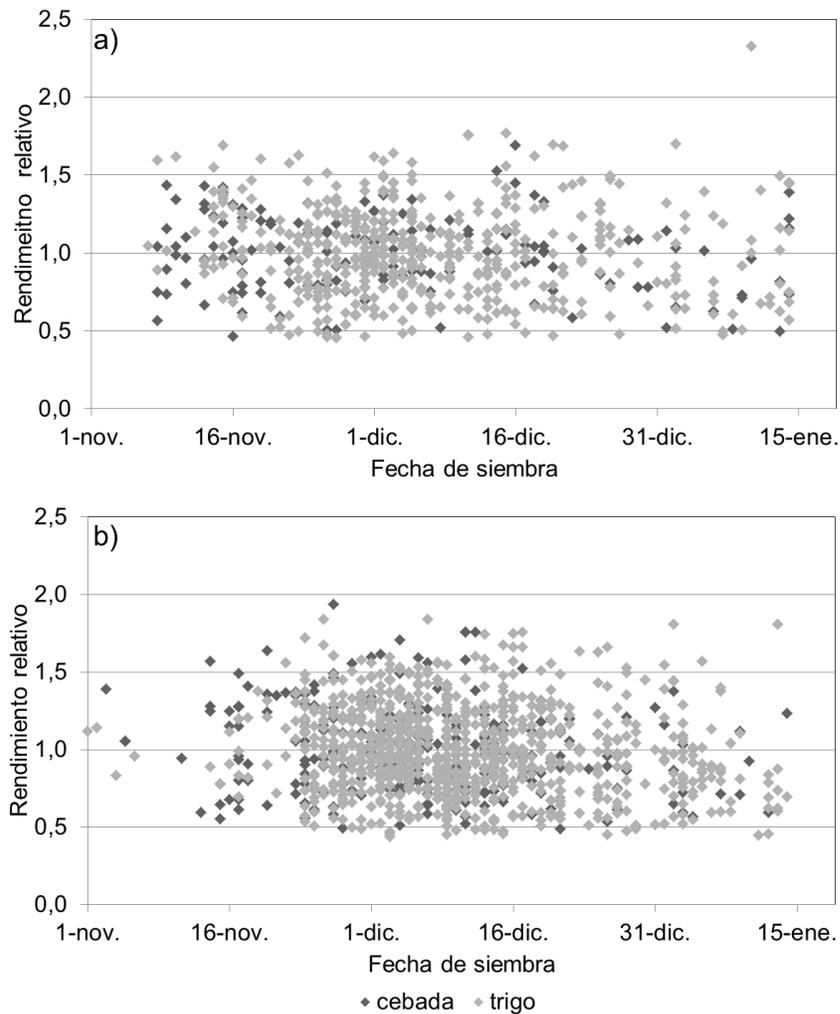


Figura No. 5. Rendimiento relativo según antecesor de invierno y fecha de siembra para la zona litoral Norte (a) y litoral Sur (b), período 2009-2016.

Al analizar el rendimiento del cultivo en función de la fecha de siembra se observa en primer lugar una gran variabilidad en los rendimientos que no es explicada por la fecha de siembra, ya que fue posible la ocurrencia de rendimientos de soja de segunda en un rango que comprende desde 1000 kg ha⁻¹ hasta 4000 kg ha⁻¹ en cualquiera de las fechas de siembra. En este sentido, cabe afirmar que dentro del rango utilizado por los productores (desde el 15 noviembre hasta el 15 de enero), no se detectaron diferencias en rendimiento de soja de segunda según la fecha de siembra, ni en la zona litoral Norte ni en la litoral Sur (Figura 5).

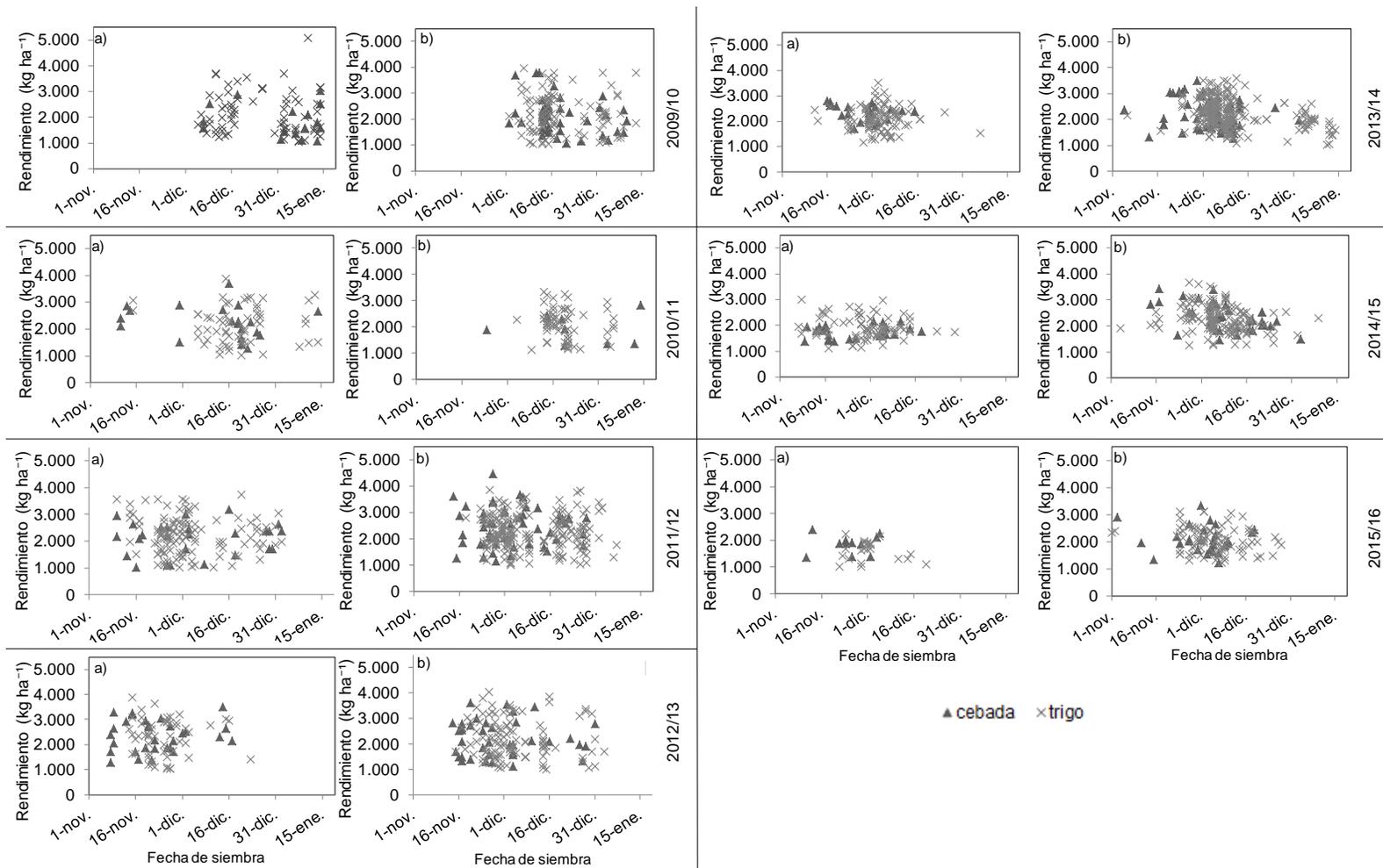


Figura No. 6. Rendimiento (kg ha⁻¹) según fecha de siembra para la zona litoral Norte (a) y litoral Sur (b) durante el período 2009-2016.

Al efectuar un análisis del rendimiento obtenido en cada chacra en función de la fecha de siembra, para cada una de las zafras que comprenden el período evaluado (Figura 6), se puede sostener que si bien existieron diferencias entre años, el comportamiento general fue similar al observado para el promedio (Figura 5), en tanto que no fue posible identificar una tendencia clara que permita definir una fecha de siembra o un rango de fechas a partir del cual el rendimiento de soja de segunda comienza a disminuir para ninguna de las dos zonas evaluada. Tampoco fue posible detectar diferencias consistentes entre antecesores invernales.

En la Figura 7 se muestran los resultados de rendimientos relativos máximos, medios y mínimos agrupados por décadas.

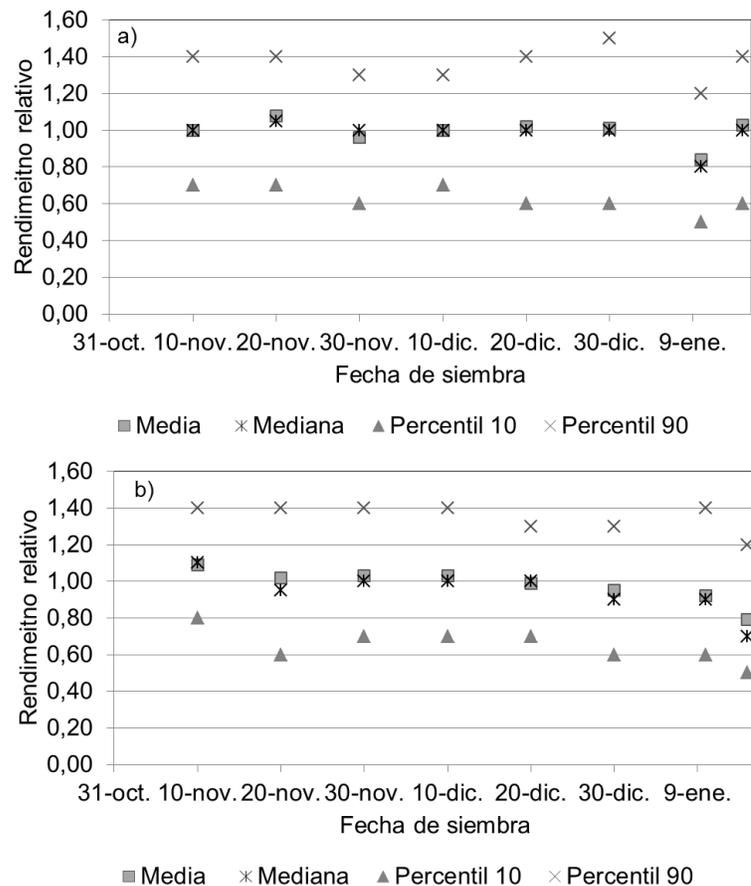


Figura No. 7. Rendimientos relativos mínimos, medios y máximos según fecha de siembra en forma decádica para la zona litoral Norte (a) y litoral Sur (b), período 2009-2016.

Existió mayor variabilidad en los rendimientos máximos en la zona litoral Norte con respecto a la zona litoral Sur, en la que se observa una reducción a partir del 10 de diciembre. En tanto, en la zona litoral Norte existió una leve caída a partir del 20 de noviembre y hasta el 10 de diciembre (Figura 7). A pesar de esto es preciso remarcar que tanto en la zona litoral Sur como en la zona litoral Norte es posible la ocurrencia de rendimientos máximos aun en fechas de siembra muy tardías (10 al 15 de enero), por lo cual no existe una tendencia bien definida.

En cuanto a los rendimientos medios, en la zona litoral Sur muestran una reducción sostenida a partir del 20 de diciembre, mientras que en el caso de la zona litoral Norte el límite sería más tarde (30 de diciembre) y puede ocurrir que un productor que haya sembrado la soja de segunda en una fecha muy tardía como el 15 de enero tenga el mismo rendimiento promedio que un productor que lo hizo en el mes de noviembre o de diciembre, hecho que acentúa la variabilidad que existe en términos de respuesta a la fecha de siembra, fundamentalmente en la zona litoral Norte.

En lo que respecta a los rendimientos mínimos la dinámica es similar, en la zona litoral Sur existe un aumento en la probabilidad de obtener rendimientos mínimos más bajos a partir del 20 de diciembre, sin embargo, estos rendimientos pueden obtenerse incluso desde fechas de siembra más tempranas como el 20 de noviembre. En el caso de la zona litoral Norte la ocurrencia de rendimientos mínimos más bajos puede darse desde el 30 de noviembre (10 días más tarde que en el litoral Sur) y desde esa fecha se mantienen en forma más o menos estable.

En síntesis, teniendo en cuenta todo lo expresado anteriormente, el efecto fecha de siembra o época de siembra debido al antecesor invernal no sería el factor responsable de la variación en el rendimiento de la soja de segunda para la base de datos analizada, es decir que si bien existió un efecto fecha de siembra este no fue causado por el antecesor, sino que existen otros factores que estarían interaccionando fuertemente en el rendimiento del cultivo como por ejemplo al nivel de nutrientes (fósforo y potasio) agregados por los productores, la disponibilidad hídrica medida como la ocurrencia de precipitaciones durante el período crítico del cultivo, etc.

4.3. MANEJO DE NUTRIENTES EN FUNCIÓN DEL ANTECESOR

4.3.1. Agregado de fósforo y potasio por antecesor

En un primer análisis macro o general en lo que respecta al manejo de los nutrientes fósforo y potasio en tanto a unidades agregadas refiere para ambos antecesores de invierno, si se toma en cuenta el total de chacras en donde existió agregado de estos nutrientes no se observa a primera vista un manejo diferencial entre el antecesor trigo y el antecesor cebada. Sin embargo, en la zona litoral Sur pareciera existir una tendencia de mayor agregado de potasio en las chacras con rastrojo de cebada en el caso de los productores que presentan los valores más altos de unidades agregadas de este nutriente (Figura 8). A pesar de esto se debe tener en cuenta que el número de chacras con antecesor cebada en las que se agregó este nutriente es relativamente bajo y por tanto hacer este tipo de afirmación podría no ser del todo preciso (Cuadro 3).

Por otra parte, si se observan los valores medios de unidades agregadas tanto de fósforo como de potasio pareciera no existir grandes diferencias entre antecesores en ninguna de las dos zonas evaluadas (Figura 8). No obstante, resulta pertinente efectuar un análisis más preciso más allá de los valores medios de agregado de nutrientes.

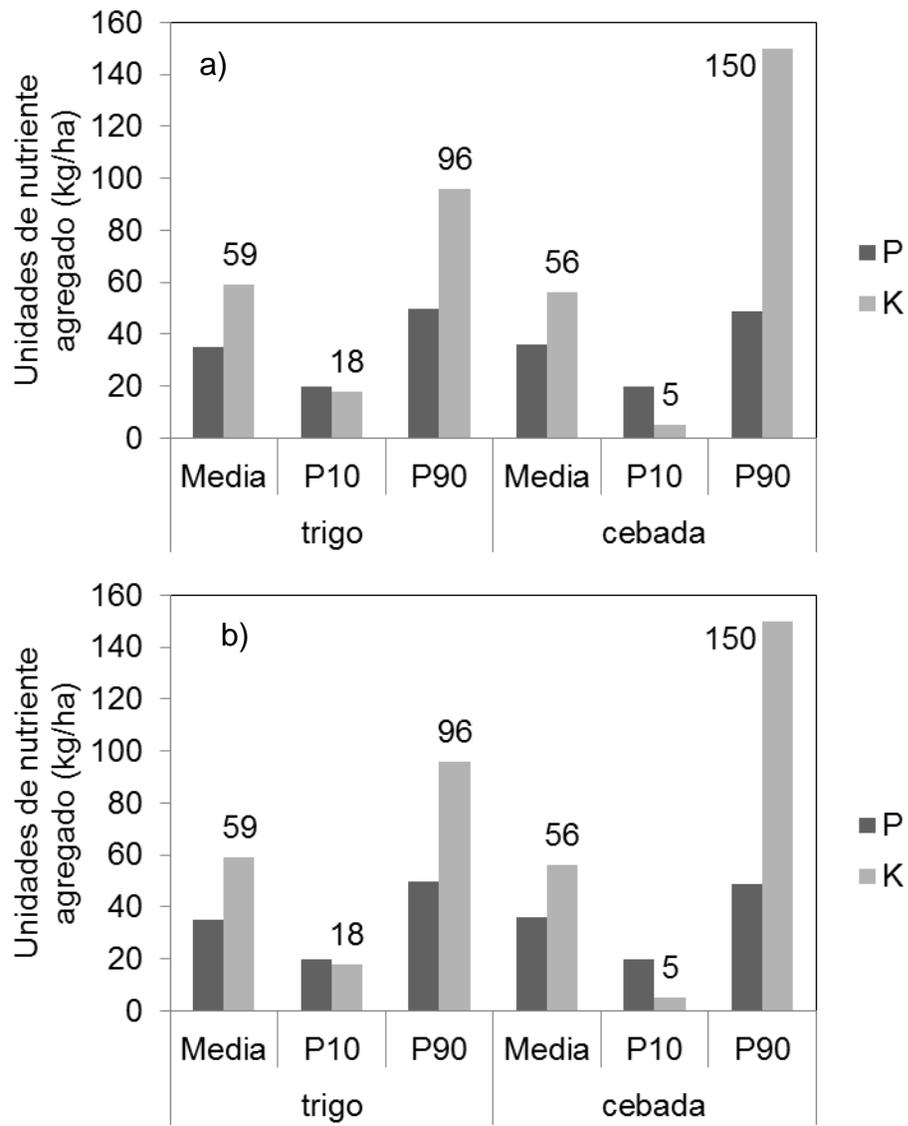


Figura No. 8. Manejo de los nutrientes fósforo y potasio en función del antecesor invernal para las zonas litoral Sur (a) y litoral Norte (b), durante el período 2009-2016.

4.3.2. Rendimiento y estrategia de fertilización en función del agregado de fósforo y potasio por antecesor distinguiendo entre chacras con y sin valor de análisis de suelo

En un análisis más exhaustivo del manejo de nutrientes en ambos antecesores de invierno se procedió en primer lugar a clasificar las chacras en función de si contaban o no con valores de análisis de suelo para los nutrientes fósforo y potasio (Cuadros 3 y 4).

Cuadro No. 3. Número de chacras, proporción (%) de chacras y rendimiento relativo, con análisis de suelo (fósforo Bray 1 en ppm; potasio en meq/100g) según zona y antecesor invernal.

		Fósforo			Potasio		
Zona	Antecesor	Rend. rel.	No.	Proporción (%)	Rend. rel.	No.	Proporción (%)
Litoral Sur	trigo	1,06	182	19%	1,05	159	17%
	cebada	1,12	44	15%	1,11	39	13%
Litoral Norte	trigo	1,05	144	28%	1,07	84	16%
	cebada	1,08	32	21%	1,11	29	19%

Cuadro No. 4. Número de chacras, proporción (%) de chacras y rendimiento relativo, sin análisis de suelo (fósforo Bray 1, ppm; potasio, meq/100g) según zona y antecesor invernal.

		Fósforo			Potasio		
Zona	Antecesor	Rend. rel.	No.	Proporción (%)	Rend. rel.	No.	Proporción (%)
Litoral Sur	trigo	0,99	778	81%	0,99	801	83%
	cebada	0,98	252	85%	0,99	257	87%
Litoral Norte	trigo	0,98	369	72%	0,98	429	84%
	cebada	0,98	121	79%	0,97	124	81%

Se puede observar que existió una baja proporción de las chacras en las que se realizó análisis de suelo, tanto en el caso de fósforo como en el de potasio. En la zona litoral Norte, sin diferenciar por antecesor solo el 26% de las chacras presentaron valores de análisis de fósforo en el suelo, mientras que tan

solo el 17% de las chacras contaron con valores de análisis de potasio en el suelo (Cuadros 3 y 4).

En el caso de la zona litoral Sur el 18% y el 16% de las chacras contaban con valores de análisis para fósforo y potasio, respectivamente (Cuadros 3 y 4). Por otra parte, si se tienen en cuenta las chacras que presentaron valores de análisis de suelo para los nutrientes en cuestión y a su vez se discrimina por antecesor de invierno, se puede observar que las proporciones entre antecesores fueron similares, es decir que independientemente de cual sea el antecesor de invierno, la proporción de chacras en las que se realiza análisis de suelo para estos nutrientes fue similar (Cuadro 3).

Además, independientemente del nutriente que se analiza en el suelo (fósforo o potasio) y del valor obtenido en dicho análisis, puede observarse que cuando se realizó análisis de suelo en una chacra el rendimiento relativo fue mayor en comparación con aquellas chacras que no contaban con valor de análisis de suelo, este comportamiento ocurrió en ambas zonas y para cada antecesor invernal, aunque aparentemente de forma más acentuada cuando el antecesor fue cebada (Cuadros 3 y 4).

4.3.2.1. Fósforo

En lo que respecta al nutriente fósforo, puede apreciarse en primer lugar que a nivel de las chacras que contaban con valor de análisis de suelo, no existió una respuesta clara en rendimiento frente al aumento en la disponibilidad total del nutriente, ya sea por el nivel de dicho nutriente en el suelo, la aplicación del mismo o la combinación de ambos, siendo esta una tendencia que se manifestó tanto en la zona litoral Sur como en la zona litoral Norte y para ambos antecesores (Figura 9).

A su vez, solo fue posible visualizar alguna diferencia en cuanto a los valores máximos de fósforo disponible (valor de análisis de suelo + dosis aplicada) cuando el antecesor invernal fue trigo, en aquellas chacras que contaban con valor de análisis de suelo. Esto fue debido fundamentalmente a valores superiores del nutriente en el suelo y no por una aplicación de dosis mayores, además dicho comportamiento fue observado en ambas zonas evaluadas (Figuras 9 y 10).

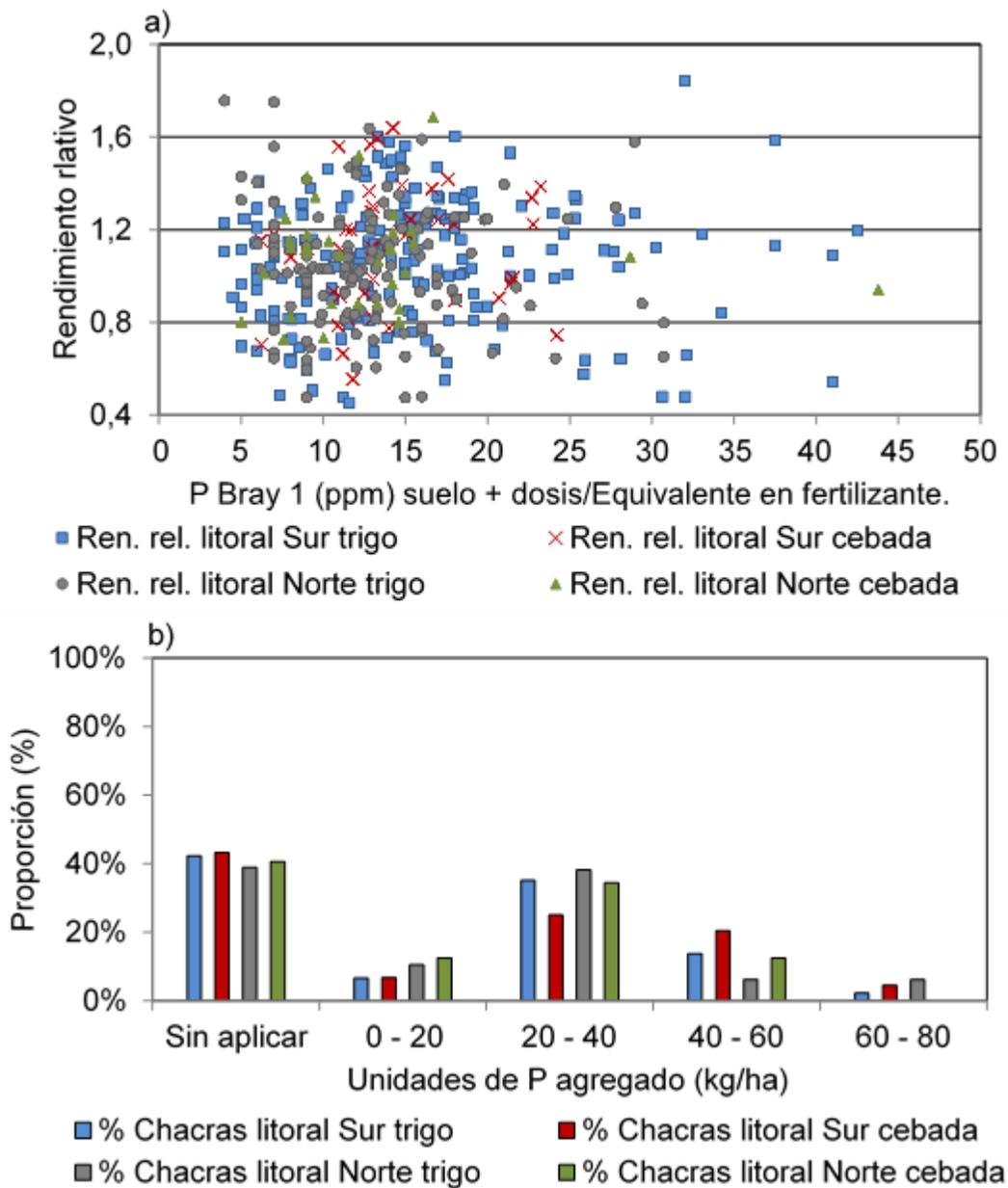


Figura No. 9. Rendimiento relativo (a) y proporción de chacras que cuentan con valor de análisis de suelo para fósforo (Bray 1, ppm) según la dosis de nutriente aplicada (b), para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.

Por otra parte, se pudo observar que un 40 % de los productores que realizaron análisis de suelo, en forma independiente del antecesor y de la zona, tomaron la decisión de no fertilizar el cultivo con fósforo sin tener en cuenta el valor del análisis de suelo. Además, de los productores que decidieron no fertilizar el cultivo solo el 22% en la zona litoral Norte y el 34 % en la zona litoral Sur llevaron a cabo un manejo correcto del nutriente en cuestión, ya que el valor arrojado por el análisis de suelo se encontró por encima del nivel crítico, no siendo necesario por lo tanto aplicar unidades de fósforo como parte de una estrategia de fertilización por suficiencia. En ambos casos se trata de valores muy bajos, por lo que existió un importante número de chacras en las que se justificaba el agregado de unidades de fósforo.

A su vez, dentro de los productores que decidieron no fertilizar el cultivo no existieron diferencias entre antecesores de invierno en lo que concierne a la zona litoral Norte, mientras que en la zona litoral Sur existió un 5% más de chacras con rastrojo de cebada en las que el manejo del nutriente por parte de los productores fue correcto, en tanto que no se fertilizó con fósforo cuando el valor de análisis de fósforo en el suelo se encontró por encima del nivel crítico.

Adicionalmente, en la zona litoral Norte hubo una mayor proporción de chacras con valor de análisis de suelo que se encontraban por debajo del nivel crítico (75%), no existiendo diferencias entre antecesores de invierno, mientras que por su parte dicha proporción en la zona litoral Sur fue menor (56%), aunque tampoco existieron diferencias entre antecesores de invierno (Figura 10).

De esta manera se puede observar que existió casi un 20% de superioridad en cuanto al nivel de fósforo en el suelo en las chacras de la zona litoral Sur, siendo justamente en esta zona donde se manifestó la diferencia entre antecesores de invierno en cuanto al rendimiento de soja de segunda.

Siguiendo esta misma línea, en la zona litoral Sur existió un 6% más de chacras con rastrojo de trigo que presentaron valores de fósforo por debajo del nivel crítico y en las cuales la decisión adoptada por los productores fue no aplicar unidades de este nutriente, por lo tanto esta podría ser una de las razones que le confiera la ventaja a la cebada como antecesor invernal en dicha zona, dado el hecho de presentar este antecesor una mayor proporción de chacras en un estatus nutricional superior en lo que a fósforo refiere.

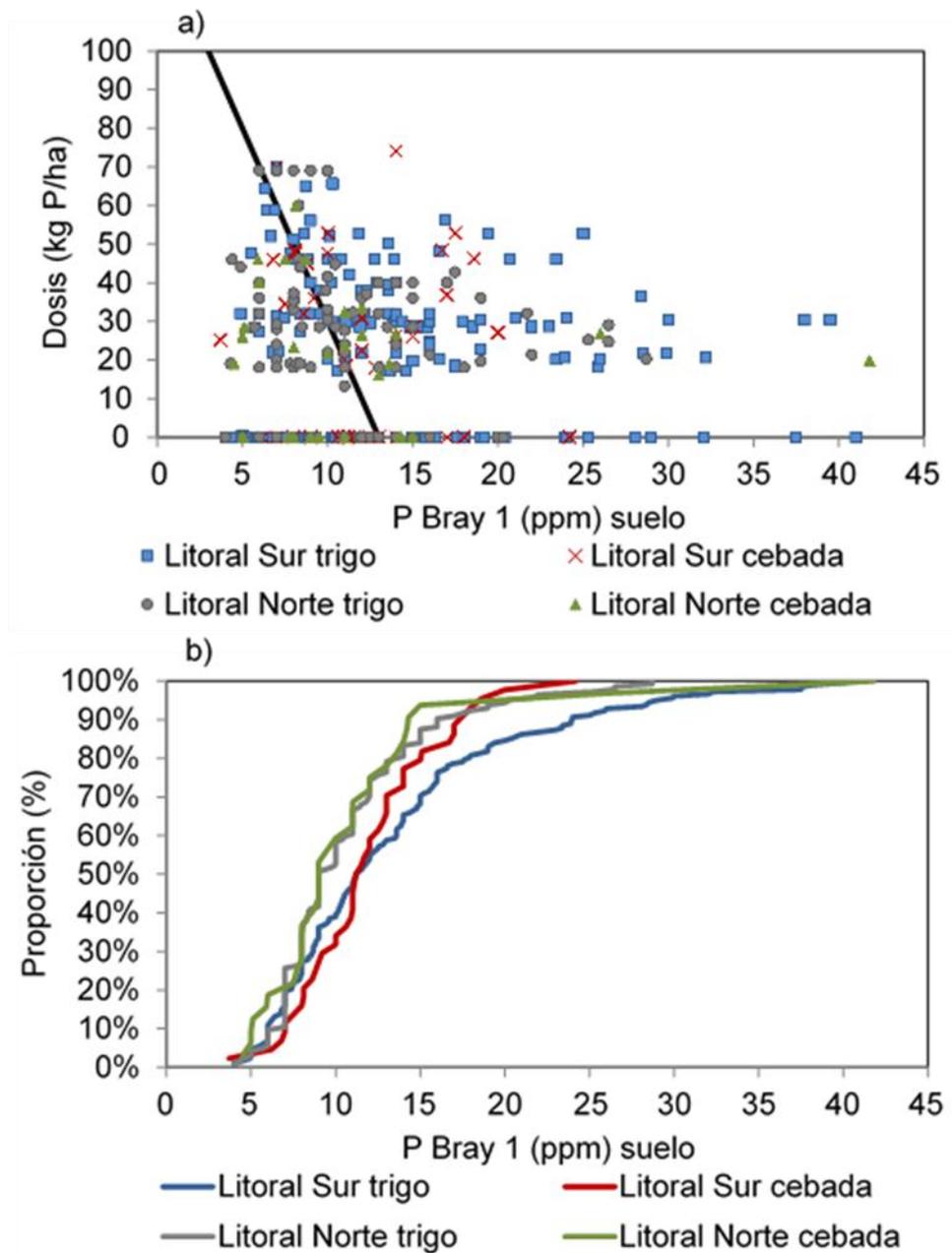


Figura No. 10. Dosis agregada de fósforo en función del valor de análisis de suelo (a) y proporción acumulada de chacras según valor de análisis de suelo para fósforo (Bray 1, ppm) (b), para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.

Finalmente, cabe mencionar que la mayor proporción de las chacras no contaron con valor de análisis de fósforo en el suelo (Cuadro 4), dentro de las mismas tampoco pudo observarse una tendencia clara en cuanto a la evolución del rendimiento del cultivo en función del agregado del mencionado nutriente.

Además, al no poder contar con el valor de análisis de suelo esto imposibilitó poder efectuar un análisis más profundo del manejo de este nutriente en cuanto al agregado y al nivel de nutriente en el suelo, sin embargo se puede sostener que existió un 40% de las chacras en las que no se fertilizó con fósforo (Figura 11), siendo el mismo valor obtenido en el caso de las chacras que si contaban con valor de análisis. Por otra parte, para la zona litoral Sur no existieron diferencias entre antecesores en cuanto a las unidades de fósforo agregadas, siendo entre 20 y 40 Kg/ha la dosis que representó la mayor proporción de chacras.

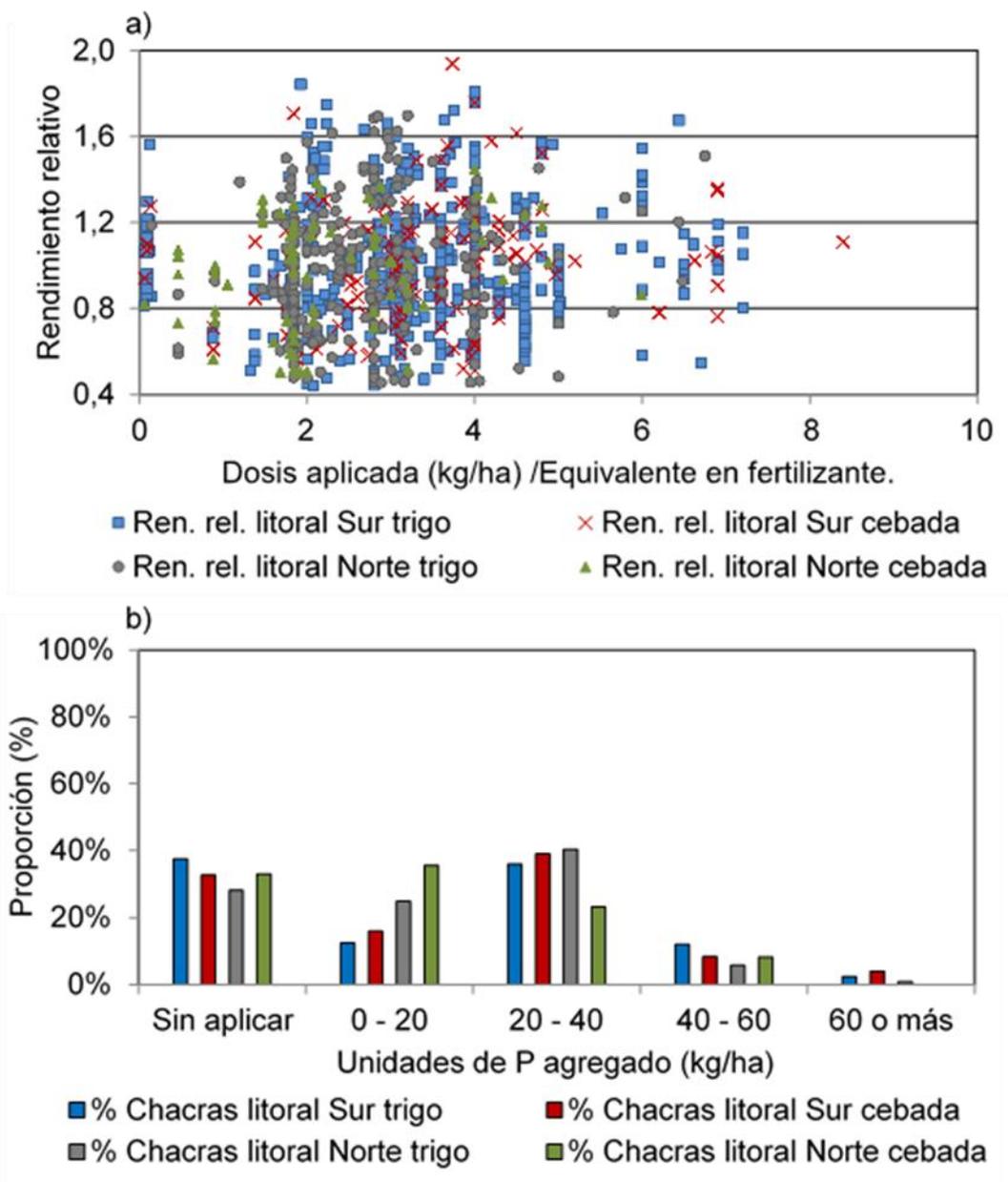


Figura No. 11. Rendimiento relativo (a) y proporción de chacras según dosis aplicada donde no realizan análisis de suelo para fósforo (Bray 1, ppm) (b), según zona y antecesor de invierno.

4.3.2.2. Potasio

En cuanto al manejo del nutriente potasio, de la misma manera que ocurriera con el nutriente fósforo, se pudo constatar que en las chacras que contaban con valores de análisis de suelo para potasio no se presentó una respuesta clara en rendimiento frente al aumento en la disponibilidad total del nutriente, ya fuese por la disponibilidad en suelo, el agregado o la combinación de ambos, dándose el mismo comportamiento cuando se discrimina por zona y por antecesor (Figura 12).

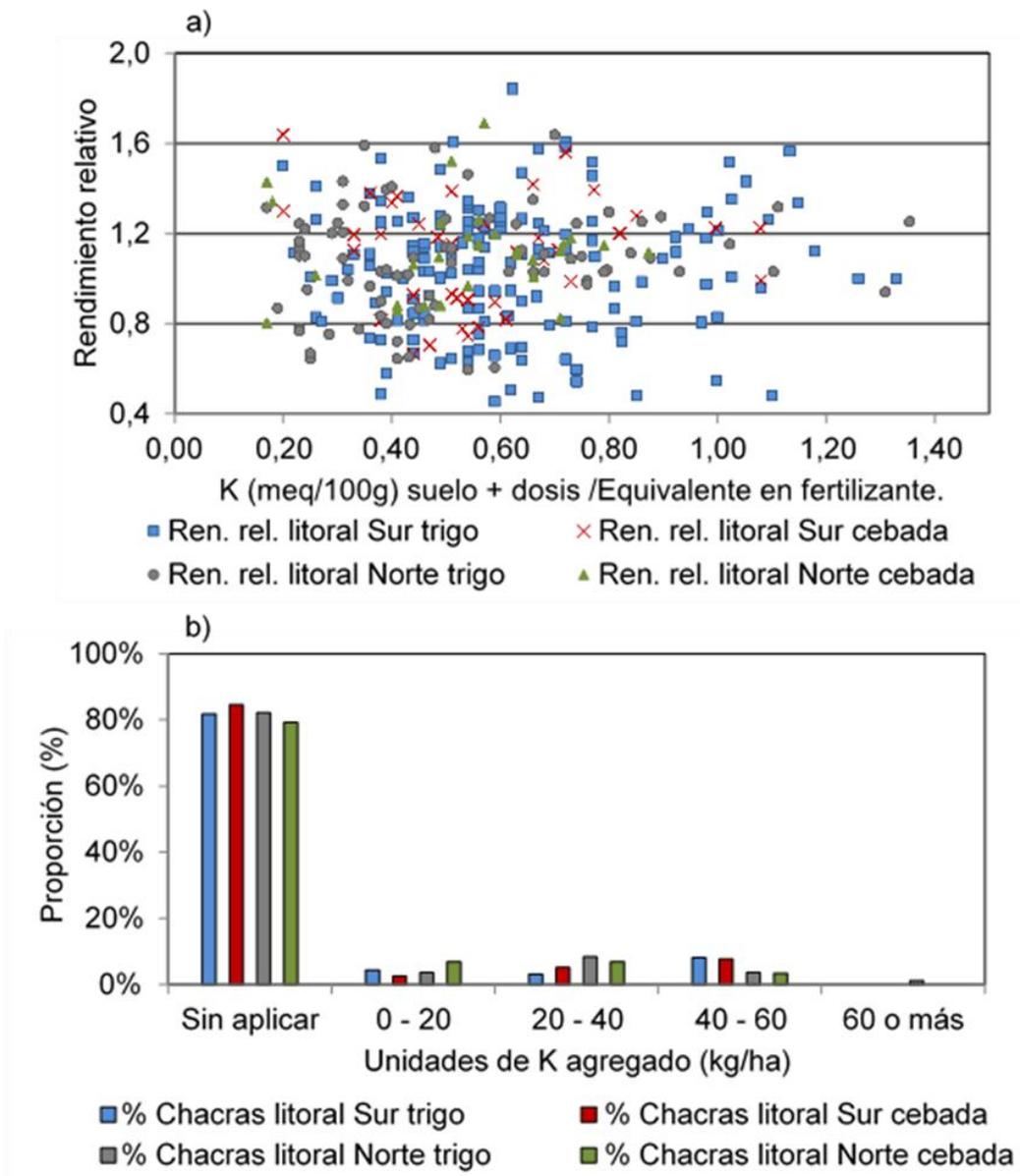


Figura No. 12. Rendimiento relativo (a) y proporción de chacras que cuentan con valor de análisis de suelo para potasio (meq/ 100g) según la dosis de nutriente aplicada (b), para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.

Cuando se analizó la decisión adoptada a nivel de chacra se pudo constatar que el 80% de los productores que hicieron análisis de suelo, tomaron la decisión de no fertilizar con potasio, siendo este valor muy similar para las dos zonas y ambos antecesores en estudio.

En la zona litoral Sur, el 75% de los productores que decidieron no fertilizar con potasio tomó la decisión correcta debido a que el valor obtenido en el análisis de potasio en el suelo se encontraba por encima del nivel crítico (criterio de fertilización por suficiencia), no existiendo diferencias entre los antecesores de invierno para esta zona. Por su parte, en la zona litoral Norte, la proporción de productores que tomó la decisión correcta fue menor (57%), existiendo pequeñas diferencias entre antecesores, en favor de las chacras con antecesor cebada, donde en el 66% de los casos la decisión de no fertilizar con potasio fue correcta, en comparación con el 53% de las chacras con antecesor trigo.

Por otra parte, en la zona litoral Sur se pudo observar una baja proporción de chacras con un nivel de potasio en el suelo por debajo del nivel crítico, sin existir diferencias entre antecesores de invierno (en torno al 10% de chacras con antecesor trigo y 10% de chacras con antecesor cebada), mientras que en la zona litoral Norte fue posible observar una diferencia entre antecesores de invierno, donde una mayor proporción de chacras con antecesor trigo presentó valores de potasio en el suelo menores al nivel crítico en comparación con las chacras con antecesor cebada (33% y 17%, para antecesor trigo y cebada respectivamente, Figura 13).

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, en la mayor parte de estas chacras ameritaría fertilizar con potasio para evitar deficiencias de este nutriente en el cultivo de soja, sin embargo, la decisión tomada por parte de los productores fue casi en su totalidad no fertilizar con este nutriente, tanto en la zona litoral Norte como en la zona litoral Sur y para ambos antecesores, lo cual supone un manejo incorrecto para este nutriente en estos casos.

A su vez, en las chacras donde el análisis de suelo arrojó un valor de suficiencia para el nutriente potasio (por encima del nivel crítico) el manejo de la fertilización fue muy dispar, existiendo una mayor proporción de productores que tomaron la decisión de no fertilizar, tanto en la zona litoral Sur (75%) como en la zona litoral Norte (57%), solo manifestándose diferencias entre antecesores en la zona litoral Norte, donde el manejo fue más correcto cuando el antecesor era cebada en contraste con el antecesor trigo (66% vs. 53%).

Además, existió un valor en torno al 15% de chacras que poseían valor de análisis de potasio en el suelo por encima del nivel crítico, en las que aun así hubo agregado de potasio, siendo esta proporción encontrada la misma en el caso de ambas zonas y de los dos antecesores invernales evaluados (Figura 13).

Posteriormente, dentro de las chacras que no presentaron valores de análisis de potasio en el suelo, las cuales representaron la mayor proporción de las chacras evaluadas (Cuadro 4), al igual que en los casos anteriores, tampoco pudo observarse una respuesta en rendimiento frente al aumento en la disponibilidad del nutriente, solo pudiéndose apreciar valores mayores de nutriente aplicado en chacras ubicadas en la zona litoral Sur con antecesor cebada (lo cual es consistente con lo señalado al principio de este apartado). Este hecho podría ser un factor que estuviera determinando la obtención de rendimientos mayores de soja de segunda en chacras con antecesor cebada en la zona litoral Sur.

En cuanto al criterio de decisión se pudo apreciar que al igual que en las chacras donde se realizó análisis de fósforo en el suelo, en torno al 80% de los productores tomó la decisión de no fertilizar con potasio, no habiendo diferencias entre zonas y antecesores en cuanto al valor de la proporción de chacras (Figura 14).

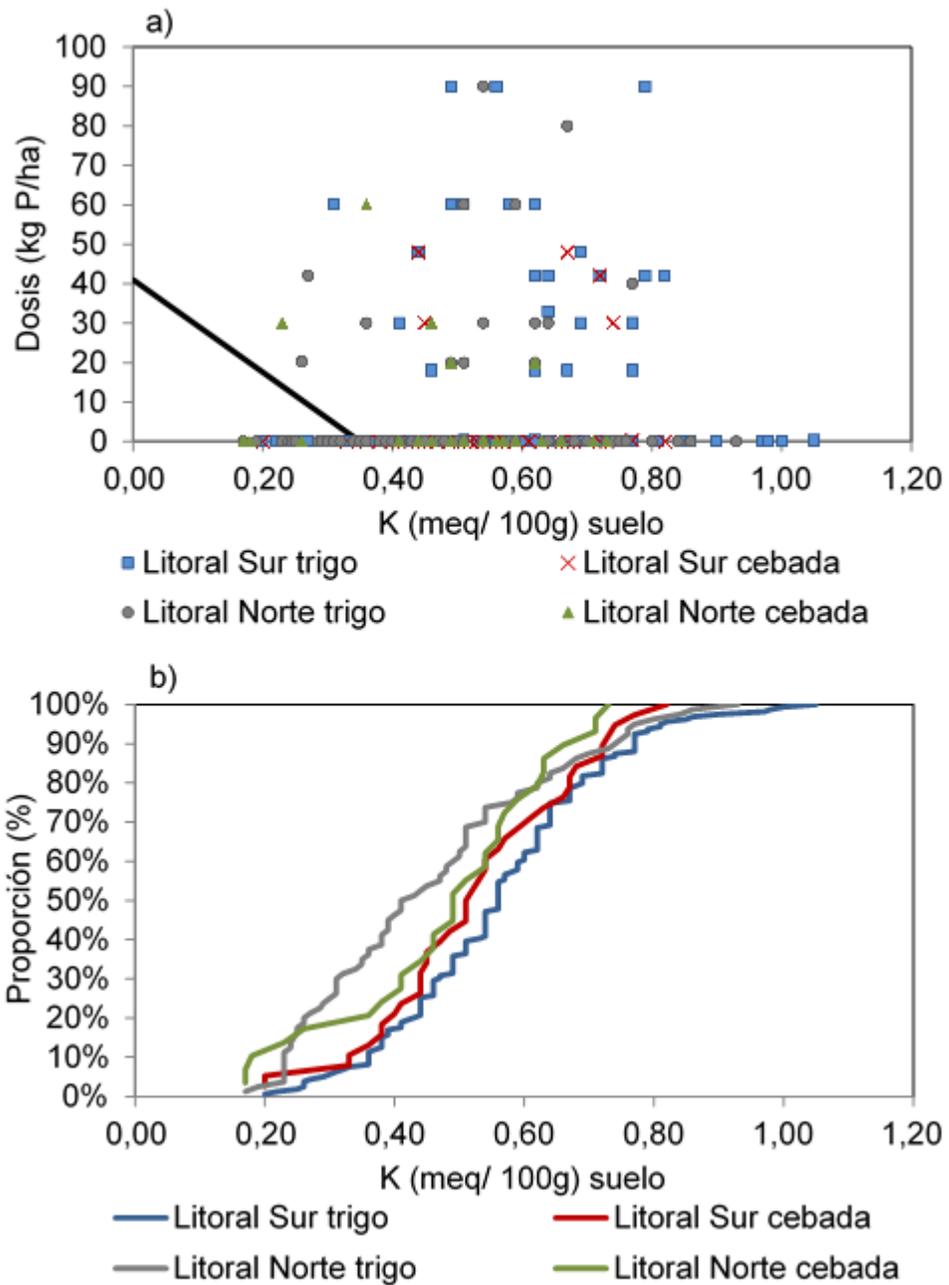


Figura No. 13. Dosis agregada de potasio en función del valor de análisis de suelo (a) y proporción acumulada de chacras según valor de análisis de suelo para potasio (meq/ 100g) (b), para cada zona evaluada y ambos antecesores de invierno.

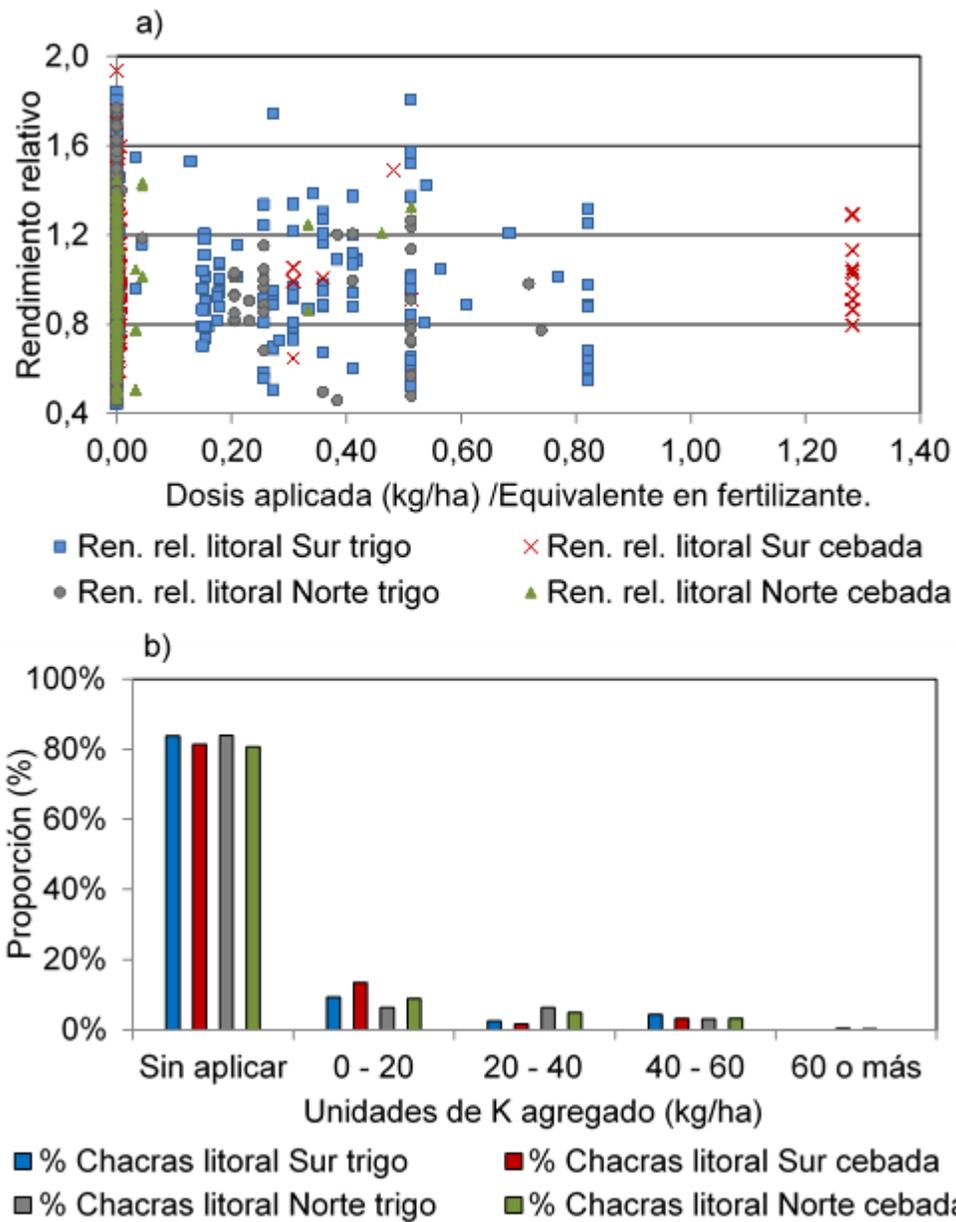


Figura No. 14. Rendimiento relativo (a) y proporción de chacras según dosis aplicada donde no realizan análisis de suelo para potasio (meq/ 100g) b), según zona y antecesor de invierno.

Resumiendo lo tratado hasta aquí en cuanto al manejo de nutrientes en el cultivo de soja de segunda en función del antecesor de invierno, cabe señalar que no fue posible determinar tendencia alguna en términos de respuesta en rendimiento del cultivo frente a la disponibilidad total de fósforo y potasio en el suelo ya sea por el nivel de dichos nutrientes en el suelo o por el agregado de los mismos, en ninguna de las zonas evaluadas ni en uno u otro antecesor de invierno.

En un primer momento, esto lleva a pensar que el hecho de que no haya existido efecto antecesor (para la base de datos evaluada) en la zona litoral Norte, y la escasa diferencia en el rendimiento del cultivo reportada para la zona litoral Sur (solo en términos estadísticos) no estaría siendo determinada o influenciada por el modo en que los productores manejaron la fertilización de las chacras con fósforo y potasio.

Sin embargo, la pequeña brecha encontrada fundamentalmente para la zona litoral Sur en cuanto al mayor número de chacras con antecesor cebada con un mejor ajuste tanto de fósforo como de potasio, podría potencialmente significar una mayor proporción de chacras con rastrojo de cebada partiendo desde un mejor estatus o nivel nutricional, y en definitiva permitir un mejor desempeño de la soja de segunda en términos de rendimiento.

4.3.3. Rendimiento en función de la fecha de siembra en chacras con valor de análisis de suelo para fósforo y potasio con disponibilidad total de ambos nutrientes en suelo por encima del nivel crítico

Una vez comprobado que el manejo de los nutrientes fósforo y potasio no manifestó grandes diferencias entre los antecesores evaluados se procedió a quitar dicho efecto y por tanto el análisis volvió a centrarse en la fecha de siembra, pero esta vez sobre aquellas chacras que tuvieron un ajuste correcto de nutrientes, es decir en las que el cultivo durante su ciclo no presentó deficiencias nutricionales.

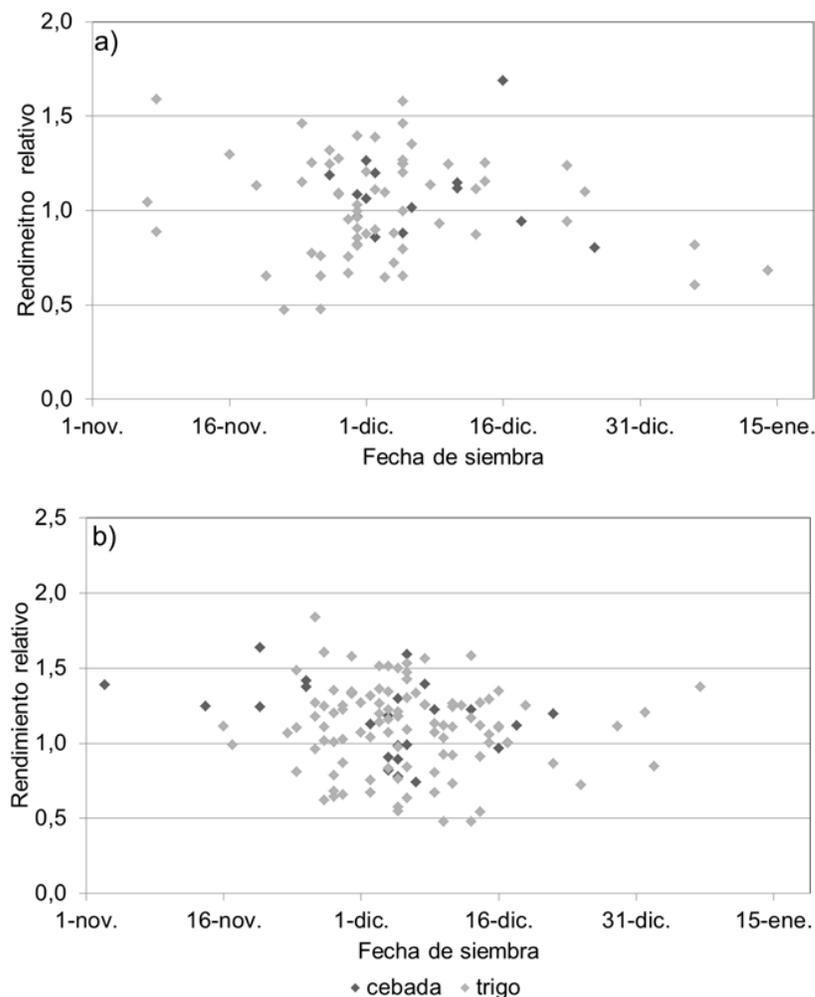


Figura No. 15. Rendimiento relativo según antecesor de invierno y fecha de siembra para la zona litoral Norte (a) y litoral Sur (b), en chacras que contaban con análisis de suelo para fósforo y el ajuste del nutriente fue correcto.

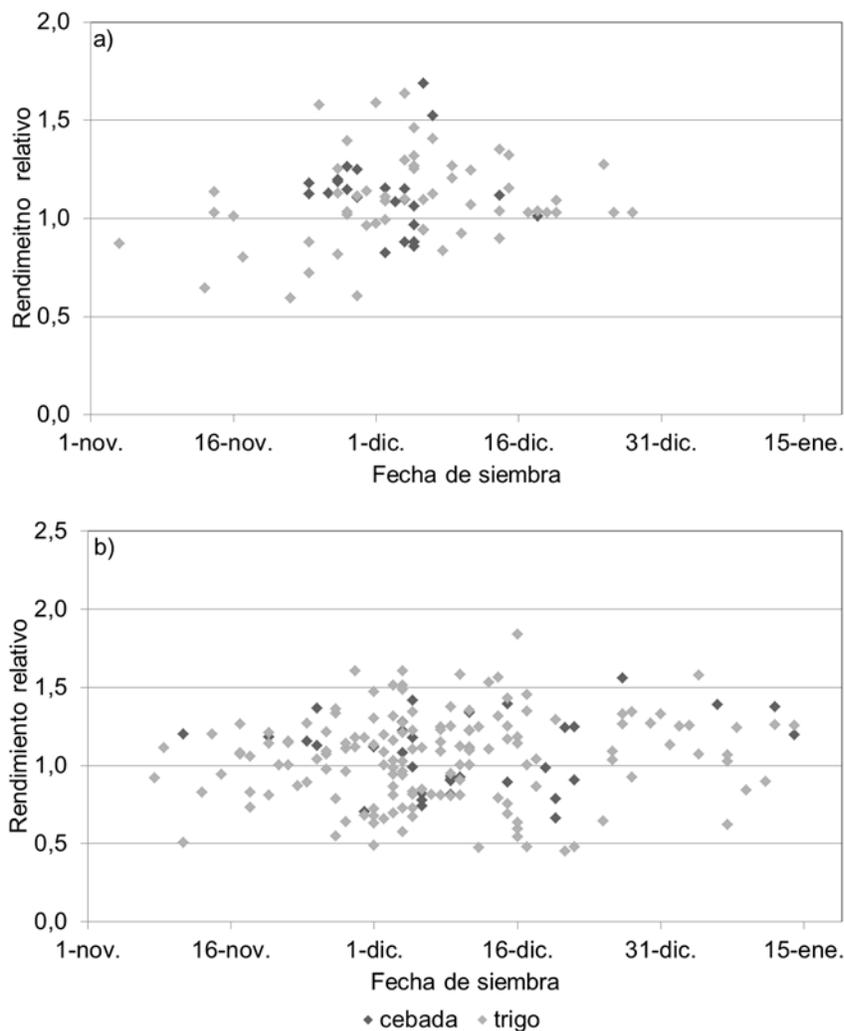


Figura No. 16. Rendimiento relativo según antecesor de invierno y fecha de siembra para la zona litoral Norte (a) y litoral Sur (b), en chacras que contaban con análisis de suelo para potasio y el ajuste del nutriente fue correcto.

Como se observa en las figuras 15 y 16, tanto en el caso de un ajuste correcto de fósforo como de potasio en las chacras con ambos antecesores de invierno, no existió una respuesta clara en rendimiento de la soja de segunda en función de la fecha de siembra dada por uno u otro antecesor, ni siquiera en la zona litoral Sur la cual resulta de mayor interés dado que allí se dieron las diferencias de rendimiento entre los antecesores trigo y cebada. Nuevamente vuelve a quedar en evidencia que el efecto fecha de siembra dado por el antecesor de invierno no estaría siendo el factor al que se le puedan atribuir las

diferencias en rendimiento reportadas para la zona litoral Sur en favor del antecesor cebada.

5. CONCLUSIONES

A partir del presente trabajo se pudo concluir en primer lugar que efectivamente existió un efecto diferencial del antecesor de invierno (en favor de la cebada) sobre el rendimiento en grano obtenido por el cultivo de soja de segunda durante el período 2009-2016 para la base de datos analizada.

Si bien la mencionada diferencia entre antecesores invernales resultó ser estadísticamente significativa, la magnitud de la superioridad expresada por la cebada como antecesor de invierno fue muy baja ya que representó en promedio apenas un 0,6%, lo que equivale a 12 kg ha^{-1} si se tiene en cuenta el rendimiento promedio obtenido por el cultivo en la base de datos analizada, con un máximo de 6% que equivale a 126 kg ha^{-1} .

En adición, dicho efecto no se manifestó en la totalidad de las zonas evaluadas, sino que solo lo hizo de manera más o menos consistente en la zona litoral Sur, donde el 62% de las chacras con antecesor cebada determinaron un rendimiento superior de soja de segunda en forma significativa con respecto a las chacras con trigo como antecesor invernal.

La fecha de siembra del cultivo en función de uno u otro antecesor de invierno no mostró diferencias importantes durante el período analizado a excepción del caso particular de una zafra (2012/13), es decir que no existió efecto fecha de siembra dado por el antecesor de invierno sobre el rendimiento del cultivo.

Los resultados de este trabajo no concuerdan con la información reportada por algunos autores regionales que sostienen la ocurrencia de siembras más tempranas de la soja de segunda en chacras con rastrojos de cebada, con consecuentes mejoras en el rendimiento obtenido por el cultivo.

La leve superioridad de la cebada como antecesor de invierno no puede atribuirse a una siembra más temprana del cultivo en cuestión con este antecesor, ya que en promedio la fecha de siembra de la soja de segunda con uno u otro antecesor fue la misma durante el período analizado.

A la hora de analizar el manejo de nutrientes para uno u otro antecesor de invierno a modo de determinar si este factor era el responsable de las diferencias en rendimiento de la soja de segunda halladas para la zona litoral Sur, se pudo determinar que en términos promedios el agregado de fósforo y potasio no difirió entre antecesores de invierno, ya que el agregado de fósforo se situó en promedio entre 35 y 36 Kg/ha para trigo y cebada respectivamente, mientras que el agregado de potasio fue en promedio de 56 y 59 Kg/ha para cebada y trigo, respetivamente.

Por otra parte, cuando se eliminó el efecto del manejo de nutrientes, centrando el análisis sobre la respuesta en rendimiento del cultivo en función de la fecha de siembra sobre chacras con un ajuste correcto de nutrientes para ambos antecesores de invierno, nuevamente no existió una respuesta clara en rendimiento a la fecha de siembra ni hubo grandes diferencias entre antecesores.

Teniendo en cuenta todo lo expresado anteriormente se rechaza la hipótesis planteada que dio origen al presente trabajo, ya que la soja de segunda no solo que no siempre presenta mayores rendimientos cuando el antecesor de invierno es la cebada (solo en la zona litoral Sur y en el 62% de los casos analizados), sino que cuando esto efectivamente ocurre no puede atribuirse a una siembra más temprana de la misma cuando el antecesor de invierno es cebada con respecto al trigo ya que la fecha de siembra entre antecesores no difirió durante el período analizado.

En este sentido, otros factores más allá de los que fueron analizados en el presente trabajo (fecha de siembra dada por el antecesor de invierno y el manejo de nutrientes por antecesor) que podrían ser objeto de nuevos trabajos como el grupo de madurez de los cultivares de soja utilizados o disponibilidad hídrica a través de la ocurrencia de precipitaciones durante el período crítico del cultivo, o incluso factores inherentes a los propios cultivos antecesores (disponibilidad inicial de agua y de nutrientes, cantidad y calidad de luz, alelopatía, entre otros) serían los que podrían estar explicando las pequeñas diferencias en rendimiento de soja de segunda que fueron reportadas por este trabajo.

6. RESUMEN

El desestimulo a la siembra de cultivos de invierno que ocurre actualmente como resultado del bajo valor de los granos en el mercado mundial y el alto costo que implica su producción han determinado que el área de siembra de soja de segunda a nivel nacional haya venido disminuyendo de manera considerable en los últimos años (500 mil ha⁻¹ en 2014 vs. 346 mil ha⁻¹ en 2017). Teniendo esto presente es que resulta fundamental obtener el mayor rendimiento posible con este cultivo a modo de poder contribuir en la mejora de los márgenes agrícolas de los productores, por lo que resulta muy importante conocer el efecto que tienen los cultivos de trigo y cebada como principales antecesores de invierno en el país sobre el rendimiento de la soja de segunda. El presente trabajo tiene como objetivo principal poder estimar las diferencias en rendimiento entre ambos antecesores invernales y en caso de que existan, encontrar los factores que las pudiesen estar explicando. Para llevar a cabo dicho propósito se partió de registros de rendimiento de soja de segunda de siete zafas de productores CREA, abarcando el período 2009-2016, a partir de los cuales se generó una nueva base de datos para trabajar. Dado que la hipótesis principal del trabajo sostiene que el rendimiento obtenido por la soja de segunda cuando el antecesor invernal es cebada es mayor con respecto al obtenido cuando el antecesor de invierno es trigo y esto es debido básicamente a que la cebada como antecesor permite una siembra más temprana del cultivo, se procedió a determinar en primer lugar si existieron diferencias en rendimiento entre ambos antecesores de invierno (y de ser así poder cuantificarlas), así como también determinar si dichas diferencias fueron consistentes en el tiempo en todas las zonas evaluadas o si en caso contrario pueden atribuirse a alguna zona en particular, y en segundo lugar comprobar si es cierto que la cebada como antecesor permitió siembras más tempranas del cultivo. Los resultados obtenidos sostienen que existen diferencias en el rendimiento de la soja de segunda en función del antecesor invernal, en términos estadísticos, pero dichas diferencias son en promedio de muy baja magnitud (0,6%, lo que equivale a 12 Kg/ha⁻¹) en favor del antecesor cebada, y solo ocurren en el caso de la zona litoral Sur. A su vez, la fecha de siembra que se presumía como el principal factor al cual se le podía adjudicar dicha diferencia en rendimiento no resultó ser tal, ya que en promedio trigo y cebada como antecesores de invierno no difirieron en la fecha de siembra de la soja de segunda. Por lo tanto, se rechazó la hipótesis principal del trabajo ya que la soja de segunda no solo que no siempre presentó mayores rendimientos cuando el antecesor de invierno fue la cebada (solo en la zona litoral Sur y en el 62% de los casos analizados) sino que cuando esto efectivamente ocurre no puede atribuirse a una siembra más temprana de la misma cuando el antecesor de invierno es cebada con respecto al trigo ya que la fecha de siembra entre antecesores no difirió durante el período analizado. Por otra parte, no existieron grandes diferencias entre

antecesoros de invierno en lo que respecta al manejo de nutrientes (fósforo y potasio) en el cultivo de soja siguiente, y tampoco fue posible encontrar una tendencia clara que permitiese determinar la influencia de esta variable sobre el efecto antecesor, por lo que el manejo de nutrientes tampoco sería el responsable de las sutiles diferencias en rendimiento encontradas. Las diferencias en rendimiento de soja de segunda en función del antecesor de invierno reportadas por el presente trabajo si bien son estadísticamente significativas, su muy baja magnitud implica que en términos prácticos dicha diferencia en rendimiento entre antecesoros no sea tal.

Palabras clave: Soja de segunda; Antecesor de invierno; Rendimiento; Diferencias.

7. SUMMARY

Discouragement to plant winter crops which is currently occurring as a result of the low value of the grains in the world market and the high cost involved in their production have determined that the area of soybean late-sown at the country level has been decreasing considerably in recent years (500 thousand ha⁻¹ in 2014 vs. 333 thousand ha⁻¹ in 2017). Bearing this in mind, it is essential to obtain the highest possible yield with this crop in order to contribute to the improvement of farmer's agricultural margins, so it is very important to know the effect of wheat and barley crops as the main winter predecessors in the country on the yield of soybean late-sown. The main objective of this work is to estimate the differences in performance between both winter predecessors and, if they exist, find the factors that could be explaining them. In order to carry out this purpose, it was based on soybean late-sown yield records from seven harvests of CREA producers, covering the period 2009-2016, from which a new database was created to work. Since the main hypothesis of the work maintains that the yield obtained by soybean late-sown when the winter ancestor is barley is higher than that obtained when the winter predecessor is wheat and this is basically due to the fact that barley as an ancestor allows an earlier sowing of the crop, we proceeded to determine first if there were differences in yield between both winter ancestors (and if so be able to quantify them), as well as to determine if these differences were consistent over time in all the areas evaluated or if otherwise, they can be attributed to a particular area, and second, to verify if it is true that barley as an ancestor allowed earlier plantings of the crop. The obtained results sustain that there are differences in the yield of the soybean late-sown depending of the winter predecessor, in statistical terms, but these differences are of very low magnitude (0.6%, which is equivalent to 12 Kg/ha⁻¹) in favor of the barley predecessor, and they only happen in the case of the southern coastal zone. In turn, the sowing date that was presumed as the main factor to which this difference in yield could be assigned did not turn out to be such, since on average wheat and barley as winter predecessors did not differ on the sowing date of the soybean late-sown. Therefore, the main hypothesis of the work was rejected since the soybean late-sown not only did not always show higher yields when the winter's predecessor was barley (only in the southern coastal zone and in 62% of the cases analyzed), but when this actually occurs can not be attributed to an earlier seeding of the soybean late-sown when the winter predecessor is barley with respect to wheat since the sowing date between predecessors did not differ during the period analyzed. On the other hand, there were no great differences between winter ancestors regarding the handling of nutrients (phosphorus and potassium) in the next soybean crop, so this factor would not be responsible for the differences in yield found either. The differences in soybean late-sown yield in function of the winter predecessor

reported by the present work, although they are statistically significant, it's very low magnitude implies that in practical terms such difference in yield is not such.

Keywords: Soybean late-sown; Winter predecessor; Yield; Differences.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, E.; Silva, P. 2003. Agronomía de la cero labranza. Santiago, Chile, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. pp. 51-58 (Serie Ciencias Agronómicas no. 10).
2. Albrecht, J.; Fontanetto, H.; Meroi, G.; Sillón, M.; Ruffino, P.; Gambaudo, S. 2010. Efecto de diferentes cultivos antecesores invernales sobre el comportamiento del maíz y la soja de segunda. Santa Fé, Argentina, Centro Primario Agricultores Federados Argentinos. pp. 1-7.
3. Almeida, F. S. 1991. Efeitos alelopáticos de resíduos vegetais. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 26 (2): 221-236.
4. Andrade, J.; Poggio, S.; Ermácora, M.; Satorre, E. 2015a. Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. European Journal of Agronomy. 67: 37–51.
5. _____; Satorre, E. 2015b. Single and double crop systems in the Argentine Pampas: environmental determinants of annual grain yield. Field Crops Research. 177: 137–147.
6. _____.2017. Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: diversifying crop sequences to increase yields and resource use. European Journal of Agronomy. 82: 1-10.
7. Bertholdsson, N. 2004. Variation in allelopathic activity over one hundred years of barley selection and breeding. Weed Research. 44: 78–86.
8. _____.2005. Early vigour and allelopathy – two useful traits for enhanced barley and wheat competitiveness with weeds. Weed Research. 45: 94–102.
9. _____.2007. Varietal variation in allelopathic activity in wheat and barley and possibilities to use this in breeding. Allelopathy Journal. 19:193–202.
10. Blum, U. 1996. Allelopathic interactions involving phenolic acids. Journal of Nematology. 28(3): 259–267.

11. Board, J.; Harville, B. 1992. Explanation for greater light interception in narrow-vs. wide-row soybean. *Crop Science*. 32: 198-202.
12. Bodrero, M.; Morandi, E.; Martignone, R.; Baigorri, H. 1997. Ecofisiología del cultivo. *In*: Giorda, L. M.; Baigorri, H. E. J. eds. *El cultivo de soja en la Argentina*. Córdoba, Argentina, INTA. pp. 29-50.
13. Calviño, P.; Sadras, V.; Andrade, F. 2003. Development, growth and yield of late-sown soybean in the southern Pampas. *European Journal of Agronomy*. 19: 265-275.
14. Carmona, F. 2013. Desarrollo de un modelo general para la estimación de la radiación neta con imágenes de satélite. Tesis de Doctorado en teledetección. Valencia, España. Universidad de Valencia. 114 p.
15. Caviglia, O.; Sadras, V.; Andrade, F. 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. *Field Crops Research*. 87: 117-129.
16. Chamorro, A.; Bezus, R.; Golik, S.; Pellegrini, A. 2014. Evaluación de distintos cultivos antecesores para la soja de segunda en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*. 34 (2): 132-135.
17. Chiola, M.; Mora, E. 2011. Evaluación de la capacidad de interferencia sobre raigrás (*Lolium multiflorum* L.) en 5 cultivares de cebada cervecera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 42 p.
18. Christensen, S. 1995. Weed suppression ability of spring barley varieties. *Weed Research*. 35: 241-247.
19. Coll, L.; Van Opstal, N.; Caviglia, O. 2011. Trigo, cebada y colza: uso de agua y radiación. *In*: Jornada Regional de Cultivos de Invierno Campaña 2011 (2011, Paraná). Actualización técnica soja. Paraná, INTA. pp. 44-48.
20. Ernst, O.; Siri Prieto, G. 1995. Rastrojo en superficie; entre ventajas y problemas. *Cangüé*. no. 4: 15-19.

21. _____; _____. 2008. Sistema de laboreo y rotación de cultivos en Uruguay; resumen de resultados. Cangüé. no. 30: 2-8.
22. _____; Mazzilli, S.; Siri Prieto, G. 2009. Manejo de la reserva de agua de suelo para situaciones de estrés hídrico. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1°. , 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 33-48.
23. Giordano, J.; Peiretti, J.; Sánchez, F. 2012. Cómo regular la cosechadora para trabajar en trigo afectado por *Fusarium*. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado oct. 2017. Disponible en <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/cosecha/como-regular-cosechadora-trigo-fusarium.asp>
24. Guenzi, W.; Mc Calla, T.; Norstadt, F. 1967. Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn, and sorghum residues. *Agronomy Journal*. 59:163-165.
25. Herrin, L.; Collins, F.; Caviness, C. 1986. Techniques for identifying tolerance of soybean to phytotoxic substances in wheat straw. *Crop Science*. 26:641-643.
26. Hoffman, E. 2017. Manejo del nitrógeno para alto rendimiento y calidad. (en línea). In: Jornada de Cultivos de Invierno (2017, Mercedes). Trabajos presentados. CREA. 1 video. Consultado jun. 2017. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=oQ5V3Vy87Tk>
27. Lett, L.; Portela, G.; Ressia, G.; Mendivil, L.; Lazaro, L.; Balbuena, R.; Peticari, A. 1999. Nodulación y rendimiento de soja en relación a diferentes alternativas de manejo cultural. (en línea). Fertilizando.com. s.p. Consultado oct. 2017. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/fijacion%20biologica%20del%20nitrogeno%20en%20soja.asp>
28. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Dirección de Investigaciones y Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017. Anuario estadístico agropecuario 2017. Montevideo. pp. 56-59.
29. Mitchell, R.; Russell, W. 1971. Root development and rooting patterns of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) evaluated under field conditions. *Agronomy Journal*. 63: 313-316.

30. Olofsdotter, M. 2010. Allelopathy for weed control. (en línea). Bangladesh Research Publications Journal. 4(1): 01-14. Consultado jun. 2017. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/265965876 Allelopathy and allelochemicals in rice weed management](https://www.researchgate.net/publication/265965876_Allelopathy_and_allelochemicals_in_rice_weed_management)

31. Oreja, F.; de la Fuente, E. 2012. Pasto cuaresma; efecto del tipo de cobertura del suelo y de la presencia del cultivo de soja sobre la presencia de plántulas. (en línea). s.n.t. 5 p. Consultado jun. 2017. Disponible en http://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/SSD12_011.pdf

32. Peltzer, H. 2007. Efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento potencial de soja en Entre Ríos. INTA EEA Paraná. Serie Extensión. no. 45: 16-18.

33. Perdomo, C.; Barbazán, M. 1999. Nitrógeno. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 68 p.

34. Reeves, D. 1994. Cover crops and rotations. In: Hatfield, J.; Stewart, B. eds. Advances in Soil Science: crops Residue Management. Boca Raton, Florida, United States of America, CRC. pp. 125-172.

35. Rouiller, P.; Scaglia, L. 2011. Evaluación de potencial alelopático y capacidad supresora sobre raigrás (*Lolium multiflorum*) en 7 cultivares de trigo (*Triticum aestivum*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 49 p.

36. Ruíz-Altisent, M. 1983. Cosechadoras de grano. Su adaptación a las cosechas. (en línea). Revista de Agricultura. 52: 497-502. Consultado 18 oct. 2017. Disponible en http://oa.upm.es/16005/1/02_016.pdf.

37. Sampietro, D. 2003. Alelopatía; concepto, características, metodología de estudio e importancia. (en línea). San Miguel de Tucumán, AR, Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. s.p. Consultado sept. 2017. Disponible en <http://www.ual.es/personal/edana/bot/mh/complemento/docufijos/evalalelo.htm>

38. Vidal, I.; Troncoso, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. In: Acevedo, E. ed. Sustentabilidad en cultivos anuales;

cero labranza, manejo de rastrojos. Santiago, Chile, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. pp. 57-82.

39. Watson, P.; Derksen, D.; Van Acker, R. 2006. The ability of 29 barley cultivars to compete and with stand competition. *Weed Science*. 54(4):783-792.
40. Wu, H.; Pratley, J.; Lemerle, D.; Haig, T. 2000. Evaluation of seedling allelopathic in 453 wheat (*Triticum aestivum*) accessions by equal compartment agar method. *Australian Journal of Agricultural Reserch*. 51: 937-944.