



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Trabajo final de carrera

**Balance de nutrientes del suelo en las secuencias Avena/Soja de 2^{da},
Cebada/Soja de 2^{da}, Colza/Soja de 2^{da} y Trigo/Soja de 2^{da}.**

Nombre del alumno: Alamo, Jorge Martín

Legajo: 25.555/9

DNI: 29.860.147

Correo electrónico: martinalamo@hotmail.com

Teléfono: 02923-15408451

Directora del trabajo: Adriana M. Chamorro

Co-directora del trabajo: Silvina I. Golik

Fecha de entrega: agosto de 2018

RESUMEN:

Con el objetivo de evaluar el balance de nutrientes de cuatro secuencias de doble cultivo: Avena/Soja de 2^{da}, Cebada/Soja de 2^{da}, Colza/Soja de 2^{da} y Trigo/Soja de 2^{da}, producidas bajo dos manejos tecnológicos (nivel tecnológico medio “NTM” y nivel tecnológico alto “NTA”), los cuales incluyen diferentes niveles de reposición de nutrientes, en un suelo *Argiudol Típico* en La Plata, se llevó a cabo un ensayo en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, dependiente de la FCAyF - UNLP. Se calcularon los balances de N, P, K y S como la diferencia entre las salidas y las entradas de nutrientes al sistema. Las salidas se calcularon a partir de los rendimientos obtenidos en el ensayo e información bibliográfica de la composición mineral de los distintos granos. Como entradas se consideraron sólo la reposición vía fertilización y, en el caso de la soja, la fijación biológica de N₂. Todos los balances de nutrientes obtenidos para todas las secuencias fueron negativos en los dos NT. Si bien se suponía que el balance de nutrientes de la secuencia Colza/Soja de 2^{da} sería más deficitario que el de las otras secuencias debido a los mayores requerimientos nutricionales de la colza, los resultados mostraron que los balances de N fueron similares entre secuencias, y los de P y S presentaron interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico. Sólo se registró un balance más negativo para Colza/Soja de 2^{da} en el caso del K, debido a los elevados requerimientos de la colza en este nutriente. También se observó que el manejo de los cultivos con un NTA, con mayor reposición de nutrientes, sólo mejoró el balance de P y el de S en la secuencia Colza/Soja de 2^{da}, ya que la colza recibió un planteo diferencial de fertilización respecto de los cereales debido a sus mayores requerimientos. En el NTA, en ninguna de las secuencias se repuso K, por lo que los balances de este nutriente fueron aún más negativos. Las mayores dosis de N en el NTA no fueron suficientes para mejorar los balances del mismo en ninguna de las secuencias.

ÍNDICE:

	Página
1. Introducción	4
2. Hipótesis	16
3. Objetivo	16
4. Materiales y métodos	16
5. Resultados	20
6. Discusión	40
7. Conclusiones	46
8. Bibliografía	47

1. INTRODUCCIÓN:

En la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de FAO la comunidad internacional se comprometió entre otras cosas, a través de 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), a erradicar el hambre y lograr una agricultura sostenible. Actualmente 815 millones de personas (aproximadamente 11% de la población mundial) padecen de subalimentación crónica (FAO, 2017). Para subsanar esta deficiencia y acompañar el crecimiento poblacional se debe aumentar la producción de alimentos (Bitar, 2014). El crecimiento de la producción de cultivos proviene de tres fuentes principales: expansión de la superficie de labranza incorporando a la producción agrícola tierras que no eran explotadas, aumento de la intensidad de los cultivos (la frecuencia con la que se cosechan los cultivos de una superficie determinada) y a través de la mejora del rendimiento. La expansión de la superficie es responsable del 15% del aumento de la producción, 7% se debe a la intensificación de cultivos y un 78% debido al aumento de los rendimientos (FAO, 2002). Tanto la intensificación de los cultivos como el aumento de los rendimientos realizan una mayor extracción de nutrientes del suelo con lo cual, si no son repuestos adecuadamente, conducen al empobrecimiento del mismo constituyendo una de las principales formas de degradación, la cual ha sido reconocida en la región pampeana argentina (Cruzate & Casas, 2003; Casas, 2006; Cruzate & Casas, 2009).

Sistemas de producción en la región pampeana argentina:

Históricamente la región pampeana argentina ha sido reconocida a nivel mundial como una de las más ricas del planeta permitiendo la realización de diversas actividades agrícolas. Sin embargo, los sistemas productivos han sufrido transformaciones que, entre otras cosas, resultaron en la pérdida de la capacidad productiva de los suelos

debido a la disminución del contenido de materia orgánica y de nutrientes (Pengue, 2005).

La agricultura argentina se desarrolló inicialmente basándose en la alta fertilidad natural de los suelos, con bajo uso de fertilizantes y, en el caso de la región pampeana, con rotaciones de cultivos anuales y pasturas perennes (Álvarez *et al.*, 2012). Hasta mediados del siglo XX el modelo agrícola incluía labranzas primarias y secundarias para la preparación del suelo. La labranza primaria se realizaba con arado de rejas y vertederas que cortaban e invertían el pan de tierra (los primeros 20 cm. de suelo aproximadamente) quedando al costado de su lugar de extracción (Maroni *et al.*, 1989). Pero, el uso continuo de este tipo de labranza provoca una degradación del suelo principalmente por pérdida de materia orgánica humificada, encostramiento, denudación del suelo y erosión tanto hídrica como eólica (Pilatti *et al.*, 1988).

Como alternativa, surgieron prácticas de labranzas conservacionistas, en las que se pasó a la incorporación parcial de los residuos, con menor mineralización, proporcional a la cantidad de residuos entremezclados con la capa superficial del suelo labrado y a la aireación del mismo. Este tipo de labranzas se realiza principalmente con rastras de discos en distintas configuraciones, arados rastra en menor medida e implementos de labranza vertical como cinceles y descompactadores entre otros. Se considera que, para que una práctica sea conservacionista, al menos un 30% de la superficie del suelo debe quedar con algún tipo de cobertura, como por ejemplo restos del cultivo antecesor y malezas cuyos sistemas radiculares hayan sido descalzados producto de la labor (Viollic, 1998).

En el extremo de las labranzas conservacionistas se encuentra la siembra directa. Este tipo de siembra conforma un sistema de producción más sustentable que permite sembrar la semilla utilizando una sola máquina (la sembradora) a través del rastrojo del cultivo precedente. A diferencia de los modelos anteriores (convencional y

reducida, mínima o conservacionista), se siembra sin roturar la tierra o, más bien, realizando una roturación específica en el sector donde es depositada la semilla (línea de siembra). Dentro del sistema actual de producción, mayoritariamente del tipo productivista, se procura reducir al máximo la competencia biológica con otras especies, para ello la forma generalizada es su eliminación antes de la siembra mediante el uso de herbicidas. Además, si se desea reducir los tiempos de cosecha y mejorar la producción, la siembra directa se complementa con el uso de diversos tipos de fertilizantes, ya que al no roturarse el suelo la mineralización es menor y, en consecuencia, también la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo del cultivo en el momento en que este los necesita (Elverdin *et al.*, 2017).

Paralelamente a estos cambios en relación a los sistemas de labranza, la realidad económica del sector agropecuario argentino llevó a partir de mediados de la década del '90 a que el cultivo de soja fuera el que presente una mayor rentabilidad. Sus costos de producción hasta cuatro veces más bajos que los costos para producir maíz, favorecieron que desplazara a otros cultivos como éste que aportan mayor volumen de rastrojo y de mejor calidad que aquella, la cual, además se produce con menos aporte de fertilizantes considerando su aprovechamiento de nitrógeno por la vía de la fijación biológica. Entre 1980 y el 2005 la superficie cubierta con soja en Argentina pasó de 2 millones a 17 millones de hectáreas. Como consecuencia, este producto llegó a ser la principal exportación del país, ya sea en forma de grano como en sus derivados (Reboratti, 2010). Regiones antes consideradas de producción mixta, hoy son netamente productoras de grano y en particular de soja (Satorre, 2005).

Además de los bajos costos de producción, la aparición de los materiales transgénicos de soja resistentes a glifosato (y posteriormente de maíz y algodón), condicionó el importante crecimiento de la siembra directa en la Argentina: para el año 2010 más del

81% de la superficie cultivada en el país se realizaba bajo este sistema de labranza (Bragachini *et al.*, 2011).

La rápida adopción de la soja transgénica asociada al sistema de siembra directa, además, posibilitó su cultivo en áreas marginales y en suelos con limitaciones para la agricultura convencional, contribuyendo a su degradación. Esto se debe a que, por un lado, la escasez del aporte de rastrojos del cultivo de soja a los suelos unida a la calidad de los mismos, no permiten compensar las pérdidas que se producen por la mineralización de la materia orgánica, determinando la disminución del contenido de la misma en el suelo (Berardo, 2004; Ferrari, 2010; García, 2011; Zazo *et al.*, 2011; Manso & Forján, 2012; Forján *et al.*, 2012; Duval *et al.*, 2015) y por otro lado, la gran exportación de nutrientes efectuada por la soja, principalmente de nitrógeno, unida a la escasa reposición de los mismos vía fertilización, resulta en balances de nutrientes negativos que han desencadenado procesos de degradación y agotamiento (Forján, 2003; García, 2006; Ghida Daza, 2013).

Al mismo tiempo, la mejora genética acompañó a la agriculturización y la sojización de la Argentina, orientándose principalmente a la obtención de materiales de mayores rendimientos. Como ejemplo, el cultivo de trigo, que en los años '60 promediaba en nuestro país los 1.160 kg.ha⁻¹ de rendimiento, alcanzó los 2.490 kg.ha⁻¹ en el año 2000, y la soja, que en la década del '70 rendía 1.600 kg.ha⁻¹, para el año 2000 tuvo un promedio de 2.905 kg.ha⁻¹ (Tabla 1). Este importante incremento en los rendimientos determinó una mayor exportación de nutrientes de los suelos que no fue acompañada por una reposición de estos de la misma magnitud. Si bien el uso de fertilizantes ha aumentado notablemente, se estima que la reposición de nutrientes por esta vía apenas alcanza el 37%, constituyéndose en una de las causas del empobrecimiento y degradación de los suelos (Cordone, 2012). La estimación de extracción en grano y la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre

(S) en los cuatro principales cultivos indica que, para la campaña 2004/05, se repuso vía fertilización el 28%, 42%, menos del 2% y el 13% del N, P, K y S, respectivamente (García, 2006).

Tabla 1: Evolución de la productividad de los cultivos de trigo y soja en los últimos 50 años.

Año	Productividad Trigo (kg.ha⁻¹)	Productividad Soja (kg.ha⁻¹)
1960	1160	Sin datos
1970	1329	1624
1980	1549	2005
1990	1892	2256
2000	2490	2586
2010	2489	2905

Fuente: Elaborado según Anuario Bolsa de Cereales de Buenos Aires 2010/11.

El balance de nutrientes como indicador de la sustentabilidad de las prácticas agrícolas:

El balance de nutrientes del suelo es frecuentemente utilizado como indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas (García, 2003) y generalmente se estima como la diferencia entre la exportación de nutrientes en los productos de cosecha (granos, forrajes, carne y leche) y la aplicación de los mismos a través de fertilizantes, enmiendas u otros aportes. Debido a que no considera todas las vías posibles de ingreso (como lluvias y deposición seca) y pérdidas de nutrientes de los sistemas (desnitrificación, lixiviación y volatilización) se lo conoce como “balance simplificado de nutrientes”. El balance de nutrientes de los suelos destinados a actividades productivas agropecuarias en Argentina se ha modificado como consecuencia de cambios en los modelos de producción. Hace unos treinta años, no se pensaba en reponer los nutrientes del suelo extraídos por las distintas actividades agropecuarias,

porque supuestamente alcanzaba con la fertilidad natural de los suelos. La contra cara es que en la actualidad hay un aumento en la frecuencia a la respuesta a nutrientes que por aquellas épocas no se pensaba en reponer (Salvagiotti, 2004). Los cultivos en sí mismos generan diferencias ya que tienen distintos requerimientos y niveles de producción, afectando la exportación de nutrientes del suelo. A su vez, el ambiente de producción, tanto en lo ambiental como en lo tecnológico, define los rendimientos obtenidos y, consecuentemente, los niveles de extracción. En este sentido, los planteos de fertilización asociados a cada modalidad de producción y a cada cultivo, difieren, de modo que la restitución de los nutrientes también se modifica, determinando distintos balances de nutrientes.

En el marco de la agriculturización y sojización actualmente imperantes, estudios realizados en suelos de la región pampeana argentina mostraron evidencias de importantes extracciones de nutrientes, nitrógeno principalmente, por parte de este cultivo (Flores & Sarandón, 2002; Zazo *et al.*, 2011). Si bien la soja tiene la capacidad de establecer simbiosis con las bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Sinorhizobium*, que le permite fijar el N₂ atmosférico, el alto contenido proteico de sus granos condiciona una altísima extracción de N que no alcanza a ser cubierta por la fijación biológica (Baigorri *et al.*, 1997). Adicionalmente, la fertilización nitrogenada afecta negativamente ese proceso (Salvagiotti *et al.*, 2008), por lo cual es una práctica que usualmente no se realiza. Todo lo anterior determina balances de N negativos para este cultivo, situación que se agudiza en la medida que aumenta su frecuencia en las rotaciones.

Los sistemas productivos del área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP (partido de Magdalena):

El área de influencia de la FCAYF es amplia, abarcando varios partidos, entre ellos, el de Magdalena. De acuerdo con el censo nacional del año 2002 (INDEC, 2017) este partido contaba con unas 529 explotaciones agropecuarias que abarcaban unas 179.755 hectáreas, el 60% de las cuales estaban incluidas en el estrato de 50 a 500 hectáreas. La actividad ganadera es importante en la zona incluyendo actividades de cría, recría, invernada (tanto a campo como en “feed lot”) y tambo. También se desarrolla la producción de ganado ovino y porcino. De aproximadamente 22.000 hectáreas implantadas en 2002, sólo un 25% se destinaba a la producción de cultivos, siendo la mayor parte cultivada con pasturas perennes. La superficie de pastizales era notablemente mayor (casi 150.000 hectáreas). Entre los cultivos predominaban los cereales para grano (fundamentalmente maíz) por sobre las oleaginosas, y entre estas, el girasol. Según los resultados del censo 2002, la superficie implantada con soja en esa campaña fue de 350 hectáreas. Sin embargo, de forma similar a lo registrado en el país, la soja incrementó fuertemente la superficie sembrada en el partido, estimaciones del Ministerio de Agricultura de la Provincia de Buenos Aires, indican que para el período 2014/17 la superficie implantada con la oleaginosa fue en promedio de 5.874 hectáreas.

Trabajos recientes indican que alrededor del 40% de los suelos de Magdalena son aptos o moderadamente aptos para el cultivo de soja (Etchegoyen, 2011), superficie que equivale a unas 73.000 hectáreas, lo cual da una idea de las posibilidades de crecimiento para el cultivo en el partido. Con el fin de evitar o minimizar los problemas ambientales y sociales relacionados al monocultivo de soja, en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, dependiente de la FCAYF, localizada en Los Hornos, se han iniciado ensayos con el objetivo de evaluar diferentes rotaciones agrícolas, que

incluyan la soja, pero aumentando la diversidad de los cultivos intervinientes y con esto atenuar la degradación y agotamiento de los suelos, así como también determinar cuál es el efecto del desarrollo de dichos cultivos sobre diversas variables indicadoras de la sustentabilidad de los suelos.

Debido a que el resultado de los cultivos está influenciado, no sólo por el ambiente sino también por la tecnología aplicada a los mismos, entendiéndose como tal no sólo a los insumos sino a los procesos se considera importante la evaluación de dos modalidades de manejo: uno, identificado como “nivel tecnológico medio”, que corresponde al manejo que realiza el productor promedio del área de Magdalena y otro manejo identificado como “nivel alto de tecnología”, que es el correspondiente al que realizan los productores de punta, es decir aquellos productores que consistentemente, a través de los años, logran mayores rendimientos en sus cultivos. Normalmente, en esta última modalidad se hace una mayor reposición de nutrientes a través de la fertilización mineral.

Todas las rotaciones evaluadas (de 4 años de duración) se inician con una secuencia de doble cultivo que incluye soja de segunda con distintos antecesores: avena, cebada, colza y trigo. Estos cuatro cultivos tienen distintos requerimientos y también distintas prácticas asociadas principalmente en relación a la fertilización.

Algunas características importantes de los cultivos de avena, cebada, colza y trigo al considerarlos como antecesores de la soja de segunda en un planteo productivo:

- La **avena** (*Avena sativa* L.) es el cereal menor de invierno más importante del país. Su área de siembra se duplicó en los últimos 25 años y alcanza casi los 2.500.000 de hectáreas (Tomaso, 2011). Según datos del INDEC (2017), la mayor

superficie se encuentra en Buenos Aires (52,2%), y le siguen Córdoba (14,6%), Santa Fe (8,2%) y Entre Ríos (6,5%).

Una parte importante de la superficie de avena se siembra como forrajera invernal anual y doble propósito. Normalmente a fines del invierno se da por finalizado el pastoreo y en su mayor parte esta superficie de suelo se dedica a cultivos de cosecha gruesa, pero también una parte importante de esta superficie sembrada se dedica a otros propósitos. Una vez pastoreada hasta agosto o septiembre se retiran los animales, se deja panojar y se dedica a confeccionar rollos como reserva para la alimentación de vacunos. Otro porcentaje de esa superficie sembrada, que normalmente oscila entre un 12 y un 16%, se deja madurar y se cosecha para producción de grano. Esta última superficie es variable y depende en gran medida del valor de la carne de novillo, de las condiciones climáticas a fines del otoño que influyen sobre la disponibilidad de forraje de las pasturas perennes y, finalmente, de la disponibilidad de semilla en el mercado que va a marcar el precio del grano (Tomaso, 2011).

Actualmente también se utiliza al cultivo de avena como cobertura previo al cultivo de verano, por ejemplo soja.

El grano de avena tiene normalmente cuatro destinos básicos: a) semilla para nueva siembra, alrededor de 6.500.000 bolsas anuales; b) industria alimentaria como avena arrollada para consumo interno y para exportación; c) exportación como grano y como avena pelada; d) consumo directo para animales, especialmente equinos y vacunos (Tomaso, 2011).

En los últimos años se ha incrementado el interés de los consumidores por alimentos con mejor calidad nutricional. La avena se destaca entre los cereales por su valor nutritivo, alto contenido de proteínas y concentración de aceite, como también por la

composición de los mismos. Estos parámetros están influenciados por la genética y también por el ambiente.

Para la zona en estudio resulta una alternativa interesante en la rotación como cereal de invierno debido a la obtención de cultivares más precoces que, al igual que la cebada, permiten un adelanto de la fecha de siembra para la soja de 2^{da}, mejorando los rendimientos respecto de una siembra más tardía como la que se hace sobre trigo, con buena calidad que lo transforman en un cultivo rentable. Y más aún si consideramos el carácter mixto agrícola-ganadero de la región.

- La **cebada** (*Hordeum vulgare* L.) es cultivada en todo el mundo y utilizada tanto en alimentos de consumo humano como animal, aunque el principal destino dado al grano cosechado es la producción de malta en la industria cervecera.

La posibilidad de adelantar en aproximadamente 15 días la siembra de la soja de 2^{da}, ya que el ciclo de la cebada es más corto comparado con el del trigo, y los altos rendimientos que se han venido obteniendo, ha favorecido el incremento de su área de siembra. Se suma a ello que tiene un precio interno no intervenido y que si no es posible venderla como cebada cervecera ofrece la posibilidad de ser vendida como forrajera.

La industria maltera tiene estrictos requerimientos de calidad entre los que se incluye el porcentaje de proteína, siendo el de mayor relevancia (10% mínimo y 12% máximo, con una tolerancia del 13% de proteína). Este valor es altamente influenciado por la fertilización nitrogenada (Méndez *et al.*, 2009).

Para la región en estudio sería una alternativa válida atendiendo a todas las razones expuestas. Consecuentemente, la difusión del cultivo dependerá de la posibilidad de obtener altos rendimientos, con eficiencia en su cosecha y buena calidad acorde a los requerimientos de la industria.

- La **colza** (*Brassica napus* L.) es una oleaginosa invernal y una opción para incluir en los sistemas de producción de la región pampeana, constituyendo una alternativa de diversificación frente a la predominancia de los cereales como cultivos de invierno.

Hacia el año 2000 se empezó a registrar un incremento de la superficie de colza, superando las 10.000 hectáreas, ubicadas, la mayor parte, en el centro sur de la provincia de Buenos Aires (Iriarte, 2002). A nivel país, el crecimiento de esta oleaginosa fue lento no superando hasta el año 2006 las 19.000 hectáreas (Iriarte & López, 2014), registrándose posteriormente un rápido incremento, sobre todo en nuevas áreas como Entre Ríos, y algunas zonas marginales como el norte de Córdoba y Santiago del Estero, alcanzando las 120.000 hectáreas para el año 2012.

El interés observado por parte de los productores por este cultivo se relaciona con que la colza constituye un buen antecesor para la soja. En el mercado argentino de colza hay cultivares de ciclo corto que permiten desocupar el lote en noviembre facilitando la implantación de un cultivo de segunda en fechas tempranas. De este modo permite que la soja que le sucede pueda tener características que se acerquen más a una siembra de primera. Por esta razón los resultados económicos de la rotación colza/soja de 2^{da} podrían resultar mayores que la de la secuencia trigo/soja de 2^{da} (Engler *et al.*, 2008).

Además, importantes desarrollos en genética permitieron ir ajustando las distintas variedades a los diferentes ambientes productivos. De esta manera, en la actualidad es posible contar con variedades que se adaptan mejor a cada zona productiva del país.

El crecimiento de la colza en la Argentina también se relacionó con la sanción de la Ley Nacional 26.093 de Biocombustibles en el año 2006, que crea el marco

institucional para la producción y uso de biocombustibles en la Argentina, sentando las bases para el inicio de su producción a escala comercial (Iriarte, 2009).

Otro aspecto relevante es la comercialización de la producción. En los últimos años se ha avanzado en la conformación de mercados más seguros, con exportadores que se establecieron como agentes operadores conviniendo contratos de siembra. Pese a esto se destacan algunos problemas técnico-comerciales que muchas veces el productor no los prevé y terminan provocando de esta manera la desmotivación del mismo, que finalmente opta por otros cultivos invernales. También se requiere de lotes medianamente libre de malezas crucíferas y para la realización de la siembra el productor debe ser muy cuidadoso, ya que la semilla es muy pequeña (Pozzolo *et al.*, 2008).

- El **trigo** (*Triticum spp.* L.) es el principal cultivo de invierno implantado en el país y en la provincia de Buenos Aires, adaptado al modelo de producción predominante y utilizado como primera opción de antecesor de la soja de segunda.

La avena, la cebada, la colza y el trigo presentan diferente composición de sus granos y diferentes niveles de rendimientos determinando distintas extracciones de nutrientes. Los planteos de fertilización usuales de estos cultivos, si bien varían, no son sustancialmente diferentes. Lo anterior, en conjunto, así como las diferentes fechas de cosecha y, consecuentemente, de siembra de la soja, determinan un efecto antecesor sobre la soja de segunda que afecta su rendimiento y extracción de nutrientes. Al mismo tiempo, los planteos productivos, tanto de los cultivos individuales como de las secuencias, cambian en función de las posibilidades económicas y/o financieras de los productores, por lo cual se modifican tanto el planteo de reposición de nutrientes como los rendimientos y, en consecuencia, la extracción de nutrientes, modificando su balance en el suelo.

2. HIPÓTESIS:

- El balance de nutrientes de la secuencia Colza/Soja de 2^{da} es más deficitario que el de las secuencias que incluyen cereales porque la colza, dada su condición de oleaginosa, tiene mayores requerimientos de nutrientes.
- El manejo de los cultivos con un nivel tecnológico más alto, que incluye una mayor reposición de nutrientes por fertilización, mejora el balance de nutrientes del suelo.

3. OBJETIVO:

El objetivo del presente trabajo es evaluar el balance de nutrientes de cuatro secuencias de doble cultivo: Avena/Soja de 2^{da}, Cebada/Soja de 2^{da}, Colza/Soja de 2^{da} y Trigo/Soja de 2^{da}, producidas bajo dos manejos tecnológicos (nivel tecnológico medio “NTM” y nivel tecnológico alto “NTA”), que incluyen diferentes niveles de reposición de nutrientes, en un suelo *Argiudol Típico* en La Plata.

4. MATERIALES Y MÉTODOS:

Sitio experimental:

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Julio Hirschhorn (34° 52' LS, 57° 58' LO) perteneciente a la FCAYF de la UNLP, localizada en Los Hornos, partido de La Plata.

El suelo donde se realizaron los ensayos pertenece a la serie *Bombeador*, descrito por Lanfranco & Carrizo (1988, sin editar). La clasificación taxonómica es: *Argiudol Típico*, Familia arcillosa fina illítica térmica. Su descripción morfológica se encuentra en el Anexo 1.

Los datos meteorológicos correspondientes al período de ensayo fueron provistos por la Estación Meteorológica de la Estación Experimental Julio Hirschhorn.

Tratamiento y diseño experimental:

Los tratamientos fueron cuatro secuencias de cultivos: Avena/Soja de 2^{da}, Cebada/Soja de 2^{da}, Colza/Soja de 2^{da} y Trigo/Soja de 2^{da}, que se manejaron con dos niveles de aplicación de tecnología: nivel medio (NTM) y nivel alto (NTA). Como fue comentado en la introducción estos dos tipos o modalidades de manejo se identifican: uno, con el manejo que realiza el productor promedio del área de Magdalena (NTM) y el otro, con el correspondiente al que realizan los productores de punta, es decir aquellos productores que consistentemente, a través de los años, logran mayores rendimientos en sus cultivos (NTA). Ambos manejos, conocidos a través de entrevistas a técnicos y productores locales, difirieron principalmente en el manejo de la fertilización (Tabla 2, Anexo 2).

El diseño experimental fue en bloques completos al azar y parcela dividida con cuatro repeticiones. Se asignó la parcela mayor a la secuencia de cultivos y la menor (2,8 x 6,5 m) al nivel tecnológico.

Manejo de los cultivos:

Los **cultivos de invierno** se manejaron bajo labranza convencional. En el Anexo 2 se dispone información complementaria de los cultivos.

La colza (Hyola 571) se sembró el 24/5/2011 con una densidad de 100 plantas.m⁻² y los cereales, el 8/7/2011 con una densidad de 300 plantas.m⁻². La variedad utilizada de avena fue la Bonaerense INTA Calén, en cebada se utilizó la variedad Scarlett y en trigo Buck Meteoro.

La colza se cosechó el 11/11/2011, la cebada el 25/11/2011, la avena 5/12/2011 y el trigo el 10/12/2011.

Los cuatro cultivos recibieron una fertilización de base con 50 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico, aplicado con las labores de preparación del suelo el 19/5/2011.

La fertilización recibida por cada cultivo durante el ciclo se presenta en la Tabla 2. Los cereales se fertilizaron al voleo el 16/8/2011 encontrándose todos los cultivos en el estado de macollaje (Zadoks *et al.*, 1974, Anexo 4). En la colza, la fertilización se hizo el 4/8/2011, también al voleo, con el cultivo en estado C2 y, en el caso del NTA, ambos fertilizantes se aplicaron juntos (CETIOM, 1988, Anexo 4).

La **soja de 2^{da}** se sembró acorde a como se desocupaban las parcelas bajo siembra directa, por lo tanto en la tabla 3 se especifica cultivo antecesor, fecha de siembra y la variedad utilizada. La distancia entre surcos fue de 0,50 metros y las semillas de todos los tratamientos fueron previamente inoculadas con bacterias del género *Bradyrhizobium*.

Tabla 2: Fertilizantes y dosis en kg.ha⁻¹ aplicados a los cultivos de invierno.

Cultivo	Fertilizante			
	Tipo	Base	NTM	NTA
Avena	Fosfato diamónico (18-20-0)	50		
	Urea (46-0-0)		100	140
Cebada	Fosfato diamónico (18-20-0)	50		
	Urea (46-0-0)		100	140
Trigo	Fosfato diamónico (18-20-0)	50		
	Urea (46-0-0)		100	140
Colza	Fosfato diamónico (18-20-0)	50		
	Urea (46-0-0)		100	120
	Fosfato monoamónico enriquecido con azufre (11-34-00 con 9% de azufre)			100

La cosecha se realizó el 4/4/2012 en la parcela que tuvo al cultivo de colza como antecesor, mientras que la soja sobre los restantes antecesores fue cosechada el 19/4/2012.

En el caso de la soja, sólo se fertilizó el tratamiento de NTA con un producto foliar (Niebla, 9-2,6-0 con 5,5% de azufre), lo que se hizo a través de dos aplicaciones de 6 l.ha⁻¹ en los estados R2 y R3 avanzado (Fehr & Caviness, 1977, Anexo 4).

Tabla 3: Fecha de siembra del cultivo de soja de segunda según liberación de la parcela y variedad utilizada.

Antecesor	Fecha de siembra	NTM	NTA
Colza	14/11/2011	DM4210 (94 kg.ha ⁻¹)	DM3810 (97 kg.ha ⁻¹)
Cebada	2/12/2011	DM4210 (103 kg.ha ⁻¹)	
Avena	13/12/2011	DM4970 (107 kg.ha ⁻¹)	
Trigo	16/12/2011	DM4970 (107 kg.ha ⁻¹)	

Evaluaciones:

Producción de biomasa y rendimiento: En madurez de cosecha se cortaron las plantas a ras del suelo. En los cultivos de invierno se cortaron 3 metros lineales, lo que equivale a una superficie de 0,6 m². Posteriormente se trillaron en forma manual. Para la soja, la superficie cosechada fue de 1 m² y la trilla fue mecánica. Todos los datos de biomasa y rendimiento se expresan como peso seco.

Balance de nutrientes: Se realizó de manera simplificada para N, P, K y S. Para ello se consideraron las entradas y las salidas de nutrientes del sistema.

Como salidas se contabilizaron las extracciones realizadas por los granos de acuerdo con los rendimientos alcanzados y el contenido de nutrientes de cada uno, para lo cual se utilizaron los datos provistos por Ciampitti & García (2007).

Como entradas de nutrientes se calcularon los aportes por medio de los fertilizantes y, en el caso de la soja, se consideró la fijación biológica a través de su simbiosis con rizobios.

La cantidad de nutrientes aplicados se obtuvo a través de la dosis aplicada y el grado de cada fertilizante (Anexo 3).

La cantidad de N aportada por la fijación simbiótica del cultivo de soja se estimó como el 40% del N total absorbido por el mismo (González, 2002). No se consideraron otras entradas ni salidas de nutrientes del sistema.

Procesamiento de los datos:

Los datos obtenidos se procesaron por medio del análisis de la varianza utilizando la prueba de Tukey ($P < 0,05$) para comparar medias.

5. RESULTADOS:

5.1. Condiciones climáticas durante el ensayo:

El invierno y la primavera se caracterizaron por condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de los cultivos de invierno, exceptuando el mes de mayo en que se registró una baja pluviometría con respecto a la media histórica que, sin embargo, no afectó la implantación de la colza, ya que la misma no requiere grandes cantidades de agua para la emergencia (Figura 1). Los cultivos de los cereales presentaron algunos problemas en la implantación relacionados con las altas precipitaciones de junio y julio que produjeron encostramiento y anegamiento temporario. Sin embargo, hacia final del macollaje, se alcanzó un stand de plantas aceptable. Posteriormente a pesar de los bajos registros pluviométricos de octubre, mes en que los cultivos se encontraban en su período crítico, se obtuvieron elevados

rendimientos que demuestran que no fueron afectados por tales condiciones. Los valores medios fueron: avena 6.558 kg.ha⁻¹, cebada 9.026 kg.ha⁻¹, colza 3.249 kg.ha⁻¹ y trigo 8.463 kg.ha⁻¹.

El mes de noviembre se desarrolló bajo condiciones que afectaron el establecimiento de las plantas de soja que estaban implantadas sobre la colza, registrándose temperaturas más elevadas y una menor precipitación con respecto a las medias históricas. La siembra de la soja sobre los cereales en diciembre no tuvo mayores inconvenientes, lográndose un buen stand de plantas.

En enero se registraron muy bajas precipitaciones y elevadas temperaturas, afectando a la soja sembrada sobre avena y trigo que se encontraban todavía en estado vegetativo, con poco desarrollo aún de su sistema radical lo que le dificultó explorar zonas con humedad. Febrero se desarrolló con registros pluviométricos superiores a la media histórica y una elevada temperatura media mensual, que coincidió con el llenado de granos de la soja implantada sobre colza, contribuyendo a explicar los mayores rindes con respecto a la soja sembrada sobre los otros antecesores. Los rendimientos medios alcanzados fueron de 3.643 kg.ha⁻¹ para la soja que tuvo a avena como antecesor, 4.350 kg.ha⁻¹ la que se sembró sobre cebada, 4.718 kg.ha⁻¹ la sembrada sobre colza y 3.266 kg.ha⁻¹ la sembrada sobre trigo.

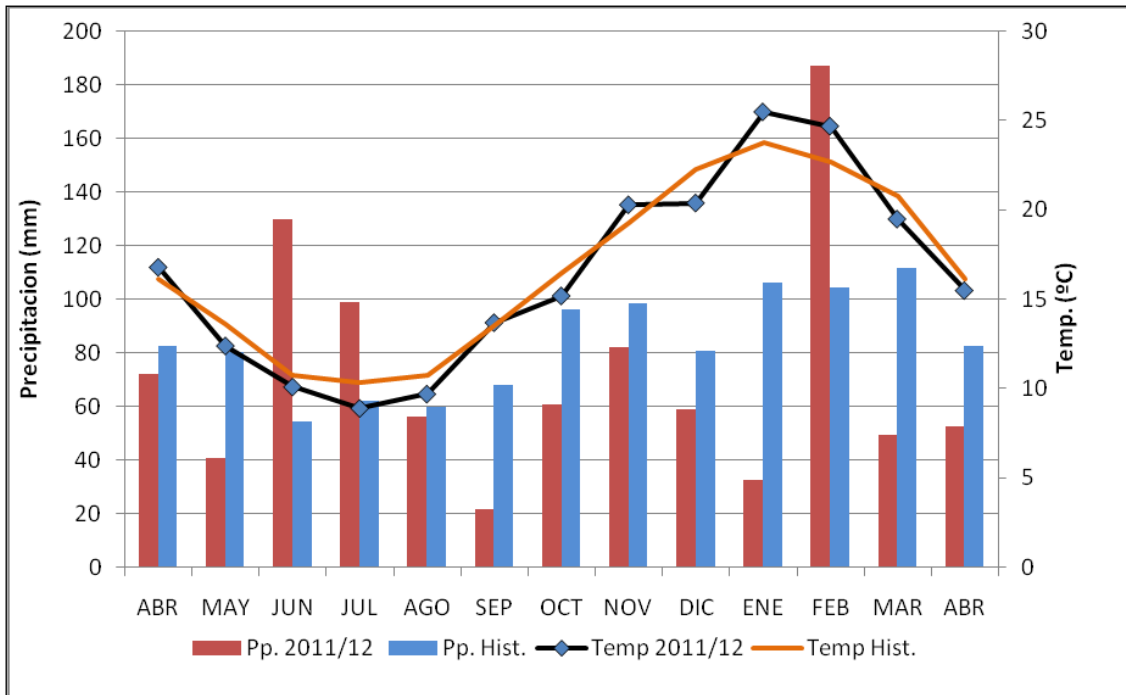


Figura 1: Precipitaciones mensuales y temperaturas medias mensuales durante el período de ensayo (abril 2011-abril 2012) e históricas (temperatura Serie: 1969-2009; precipitaciones Serie: 1964-2009) en La Plata.

Fuente: Estación Meteorológica de la Estación Experimental Julio Hirschhorn.

5.2. Productividad de los cultivos:

La producción de biomasa fue diferente entre los **cultivos invernales** y entre niveles tecnológicos, y la interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico no fue significativa estadísticamente. Los tres cereales registraron mayor producción de biomasa que la colza, con el trigo como el de mayor producción (Figura 2). En el NTA el promedio de biomasa producida fue de $16.171 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mayor a los $14.630 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtenidos en el NTM.

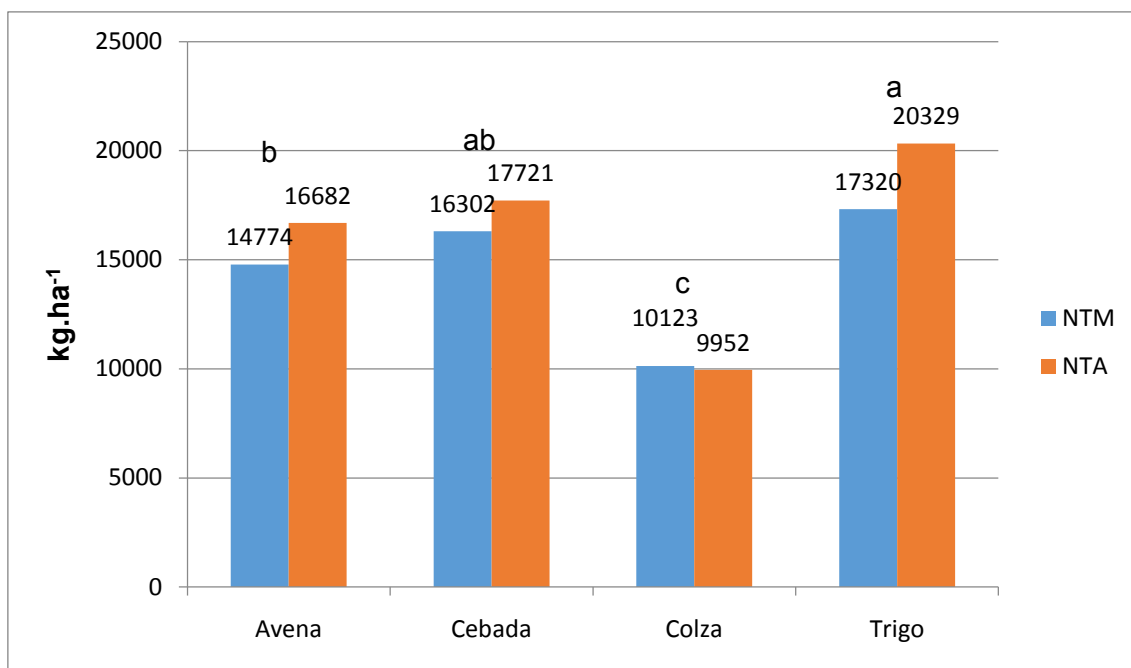


Figura 2: Producción de biomasa de los cultivos invernales en los dos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivos según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 13,37%.

Los rendimientos acompañaron las diferencias en la producción de biomasa sin registrar interacción significativa Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico. En la Figura 3 se observa cómo el trigo y la cebada alcanzaron los mayores rendimientos y avena y colza, los menores. La diferencia observada en la producción de biomasa entre los cereales y la colza se acentuó al analizar los rendimientos, lo cual se debió a sus índices de cosecha, que fueron de 46,5% en los cereales y de 24,3% en la colza. Los rendimientos obtenidos en el NTA también fueron significativamente mayores a los del NTM: 7.262 kg.ha⁻¹ y 6.386 kg.ha⁻¹ respectivamente.

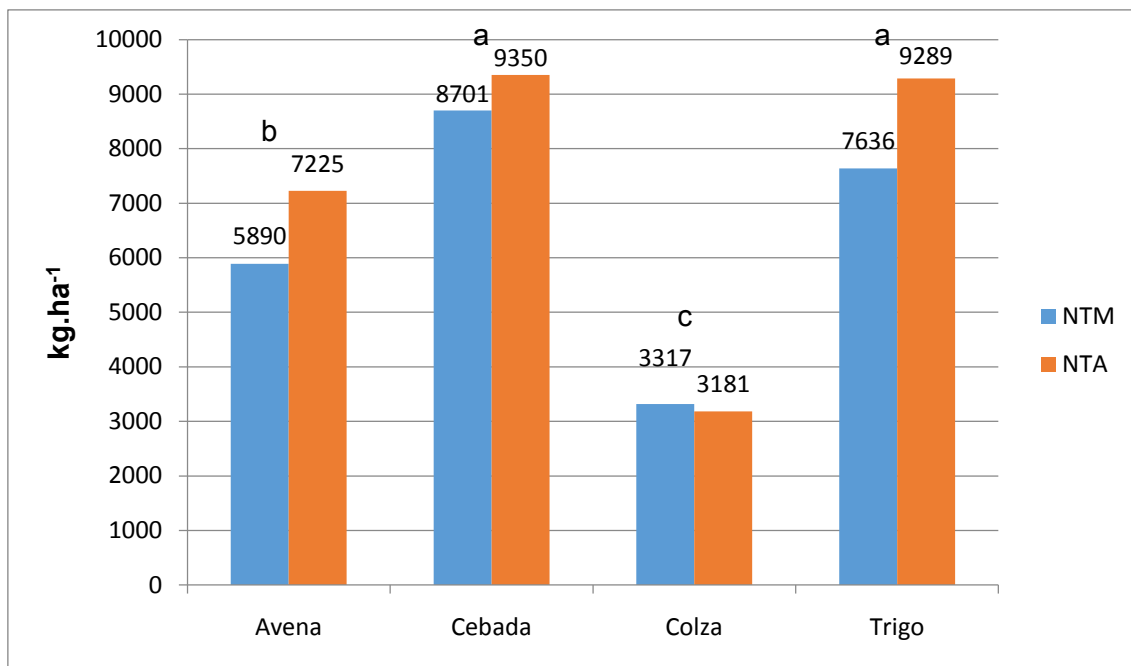


Figura 3: Rendimiento de los cultivos invernales en los dos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivos según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 14,68%.

La biomasa de la **soja de 2^{da}** varió según el antecesor, decreciendo en el orden colza-cebada-avena-trigo (Figura 4). Si bien la producción fue algo mayor en el NTA (8.878 kg.ha⁻¹ frente a los 8.565 kg.ha⁻¹ del NTM), esta diferencia no fue estadísticamente significativa, lo mismo que la interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico.

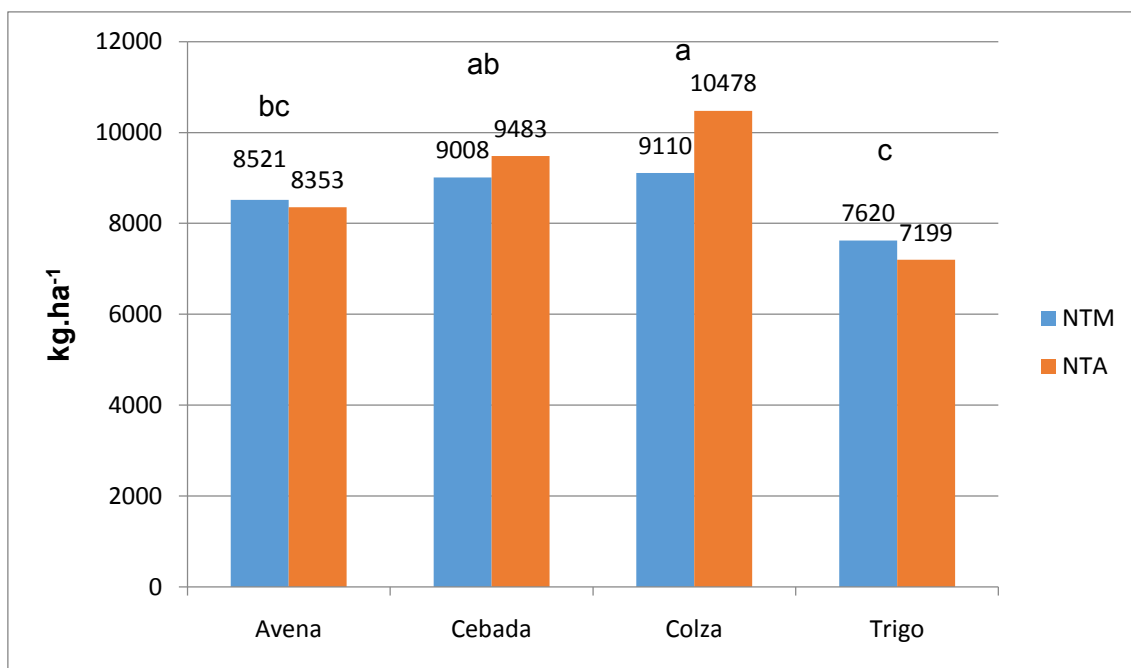


Figura 4: Producción de biomasa del cultivo de soja de 2^{da} sobre los distintos antecesores en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre antecesores según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 10,38%.

Los rendimientos de la soja siguieron la misma tendencia que la producción de biomasa: fueron mayores con antecesor colza y cebada que con antecesor avena y trigo (Figura 5), y no se diferenciaron entre niveles tecnológicos, siendo de 4.068 kg.ha⁻¹ para el NTA y 3.920 kg.ha⁻¹ para el NTM. La interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico no fue significativa estadísticamente.

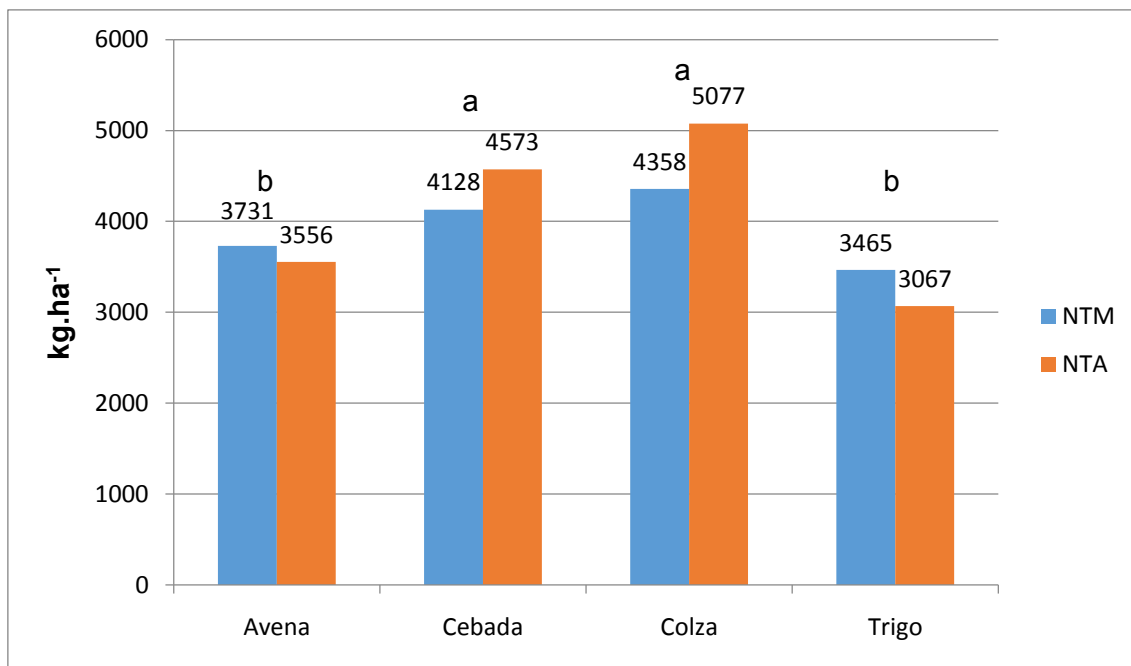


Figura 5: Rendimiento del cultivo de soja de 2^{da} sobre los distintos antecesores en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre antecesores según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 11,55%.

La producción de biomasa de la **secuencia** Colza/Soja de 2^{da} fue significativamente menor que la producción de biomasa de las secuencias que incluyeron cereales (Figura 6). Si bien la soja en esta secuencia produjo mayor biomasa que en las otras, no pudo compensar la baja producción de la colza.

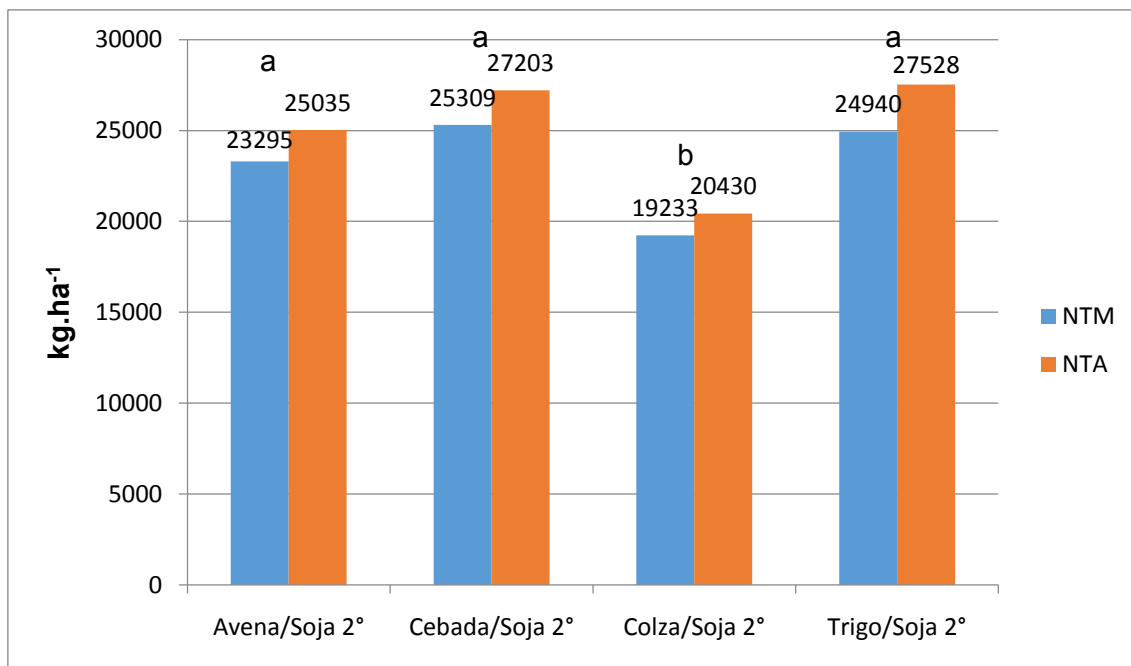


Figura 6: Producción de biomasa de la secuencia completa en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre secuencias según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 9,34%.

Al analizar los rendimientos, todas las secuencias se diferenciaron entre sí, con el mayor valor para Cebada/Soja de 2^{da} y el menor para Colza/Soja de 2^{da} (Figura 7). El nivel tecnológico no interactuó con la secuencia y registró mayor producción en el NTA, con 25.049 kg.ha⁻¹ de biomasa y 11.330 kg.ha⁻¹ de rendimiento frente a los 23.194 kg.ha⁻¹ y 10.507 kg.ha⁻¹ de biomasa y rendimiento obtenidos en el NTM.

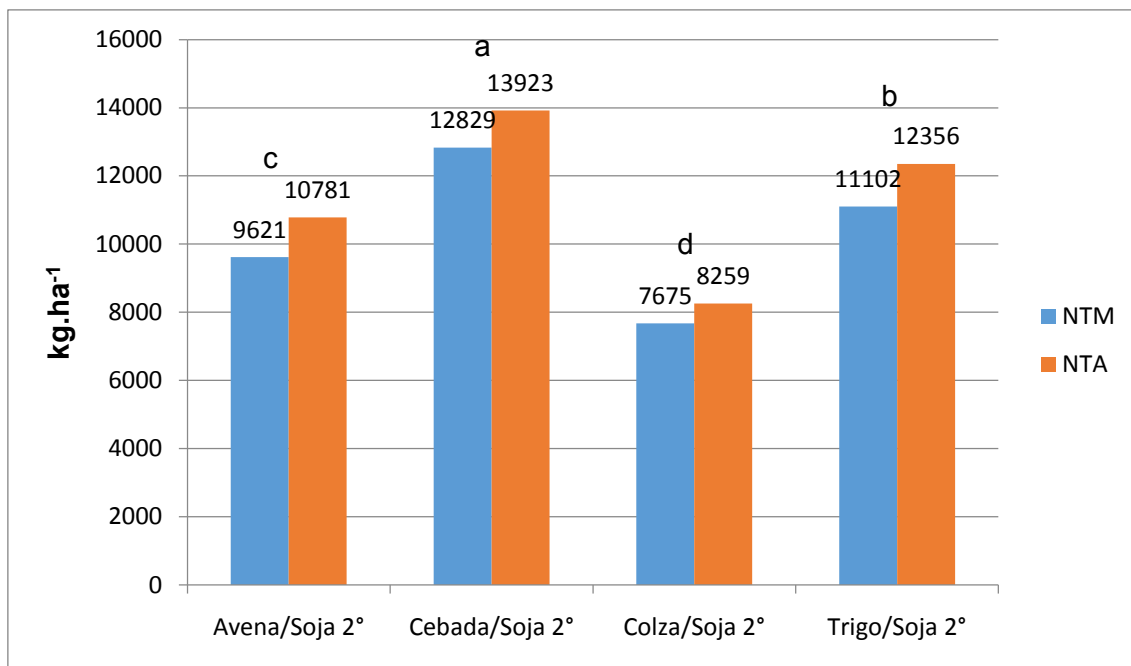


Figura 7: Rendimiento de la secuencia completa en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre secuencias según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 9,73%.

5.3. Balance de nutrientes.

La interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico no fue significativa para los balances de N, ni para las secuencias completas ni para los cultivos individuales (invernales o soja de 2^{da}).

Los **balances de N** de los **cultivos invernales** fueron todos negativos, variando entre **-45,7** y **-94,8** kg N.ha⁻¹ (Figura 8) y se diferenciaron entre cultivos pero no entre niveles tecnológicos. Los balances más favorables se registraron en colza y los más negativos en trigo.

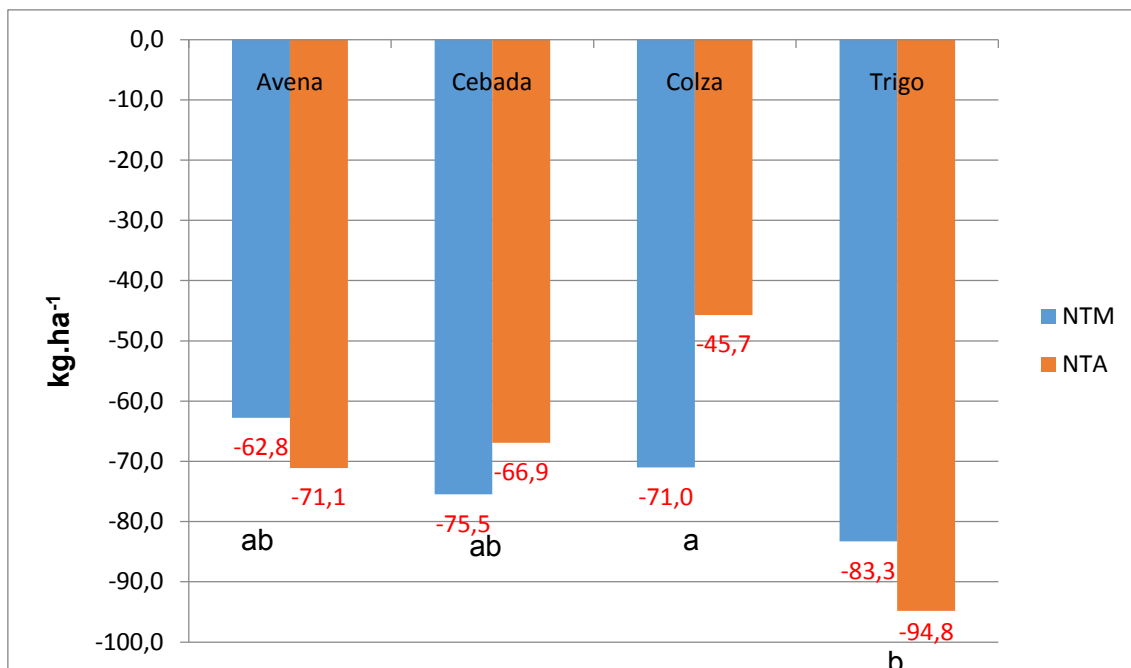


Figura 8: Balance de N de los cultivos invernales en los dos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivos según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 28,62%.

El balance de N de la **soja de 2^{da}** siguió la tendencia de los rendimientos, siendo más negativos con antecesor colza y cebada que con antecesor trigo y avena (Figura 9). Los valores fueron similares a los obtenidos por los cultivos de invierno, se ubicaron entre **-55,7** y **-92,9** kg N.ha⁻¹ y no se modificaron significativamente con el NT.

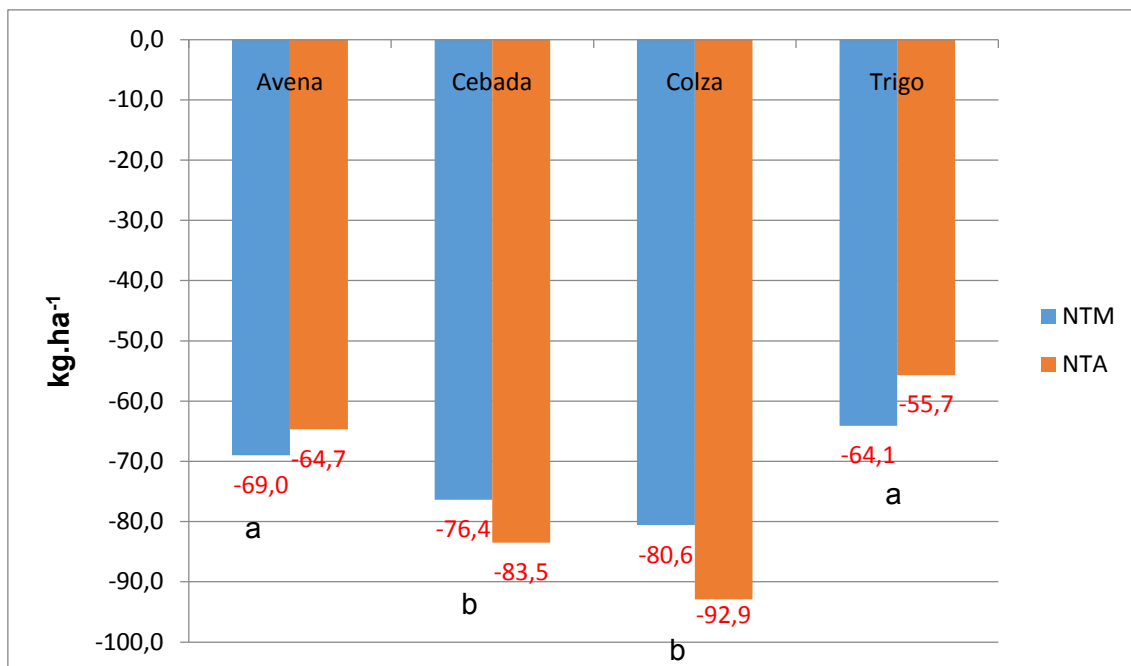


Figura 9: Balance de N del cultivo de soja de 2^{da} sobre los distintos antecesores en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre antecesores según el test de Tukey (P<0.05). Coeficiente de variabilidad: 11,64%.

Los balances de N de las **secuencias completas** no presentaron diferencias significativas, aunque variaron entre -131,8 y -151,9 kg N.ha⁻¹. Tampoco el NT afectó este resultado (Figura 10).

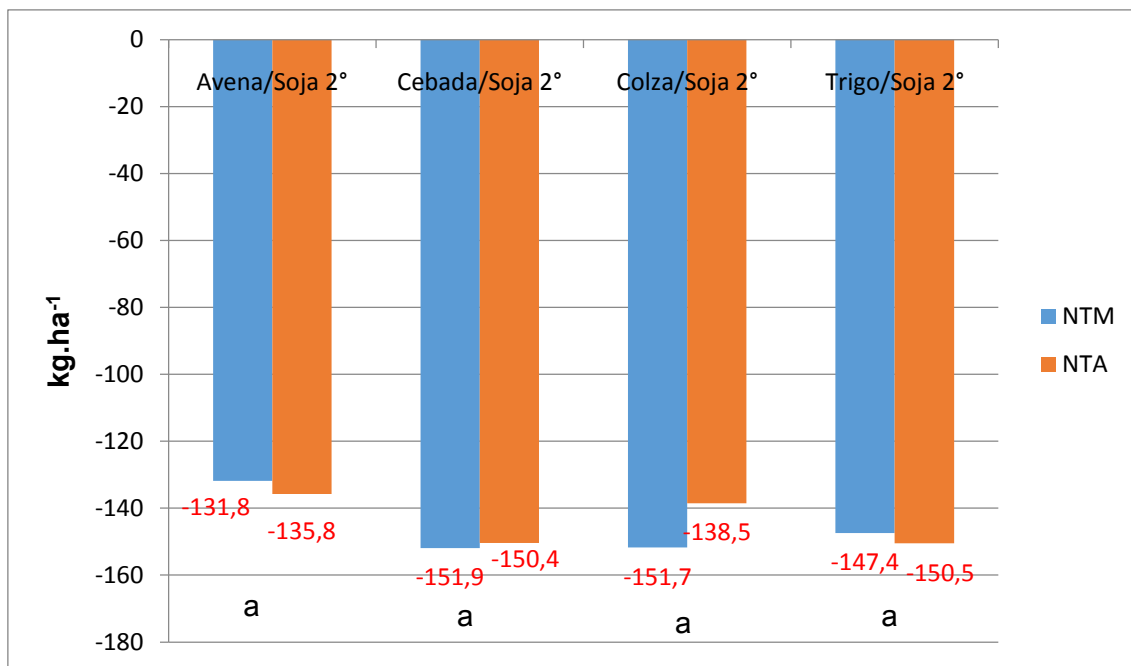


Figura 10: Balance de N de la secuencia completa en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre secuencias según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 14,41%.

Los **balances de P** de los **cultivos invernales** variaron entre 9,5 y -26,0 kg P.ha⁻¹ (Figura 11). Hubo interacción estadísticamente significativa Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico. Mientras que en los cereales la extracción neta de P aumentó en el NTA, en la colza, debido a la mayor dosis de fertilización con este nutriente, el balance en el NTA fue positivo.

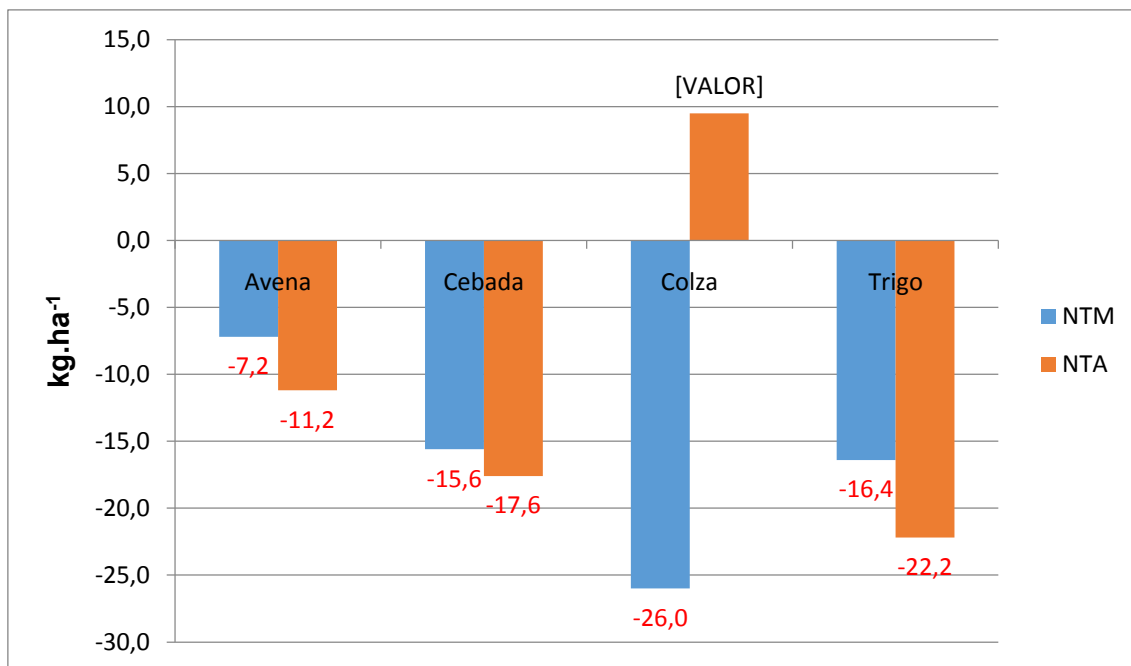


Figura 11: Balance de P de los cultivos invernales en los dos niveles tecnológicos.

Coefficiente de variabilidad: 32,43%.

El balance de P de la **soja de 2^{da}** también siguió la tendencia de los rendimientos, siendo más negativos con antecesor colza y cebada que con antecesor trigo y avena (Figura 12). Los valores se ubicaron entre **-16,2** y **-27,1** kg P.ha⁻¹, no se modificaron significativamente con el NT y no hubo interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico.

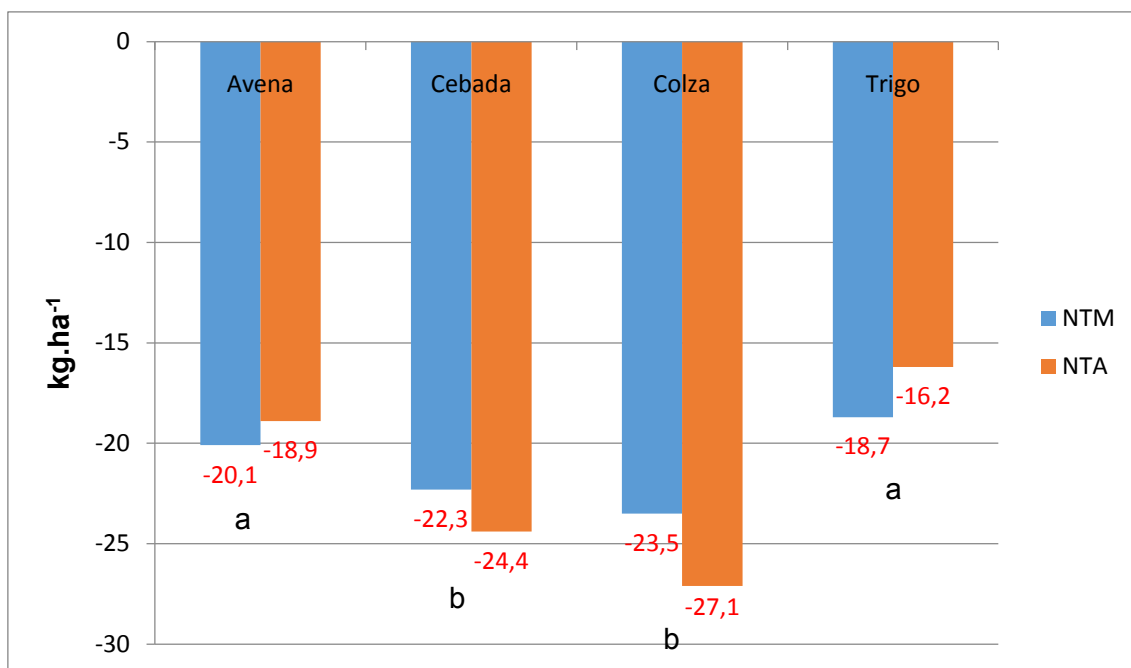


Figura 12: Balance de P del cultivo de soja de 2^{da} sobre los distintos antecesores en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre antecesores según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 11,64%.

Los balances de P para las **secuencias completas** variaron entre **-17,6** y **-49,5** kg P.ha⁻¹ (Figura 13). Se comportaron igual que en los cultivos de invierno registrando interacción estadísticamente significativa Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico. En las secuencias con cereales de antecesores la extracción neta de P aumentó en el NTA, en la secuencia con colza, debido a la mayor dosis de fertilización, el balance en el NTA fue aproximadamente la mitad que en el NTM. El balance más favorable fue para la secuencia con colza en el NTA y el más negativo fue para la misma en el NTM.

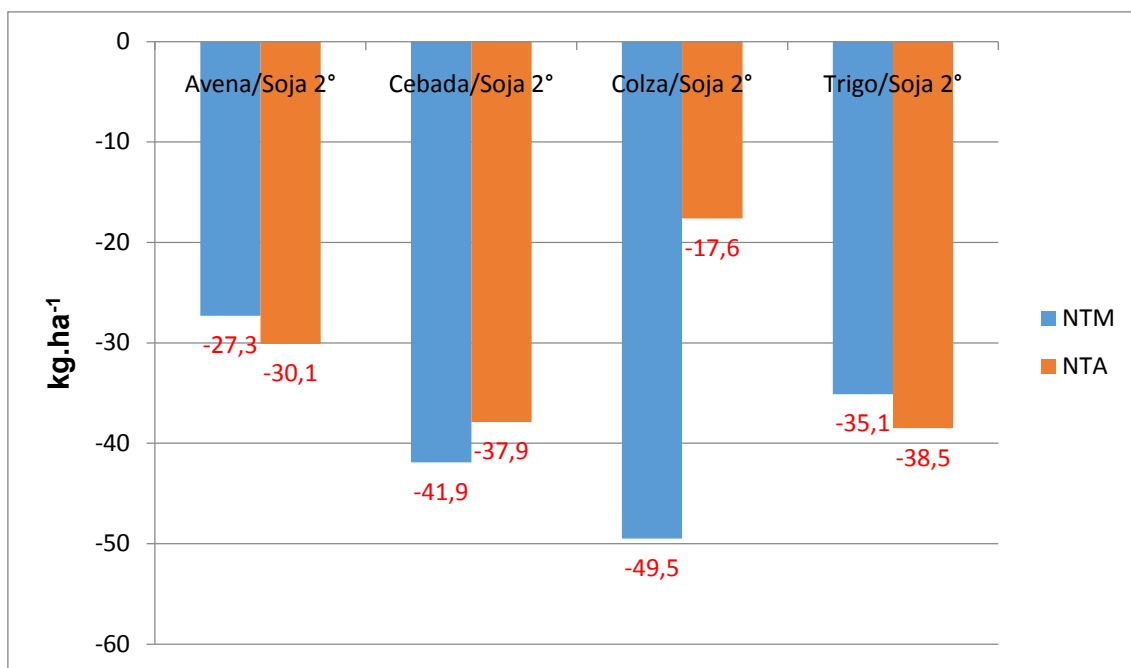


Figura 13: Balance de P de la secuencia completa en ambos niveles tecnológicos.

Coefficiente de variabilidad: 13,21%.

Al igual que en el caso del N, los **balances de K** no registraron interacción significativa Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico.

Los balances de K de los **cultivos invernales** resultaron todos negativos, variando entre **-17,7** y **-92,9** kg K.ha⁻¹ (Figura 14) y se diferenciaron entre cultivos pero no entre niveles tecnológicos. Los balances más favorables se registraron en avena y los más negativos en colza.

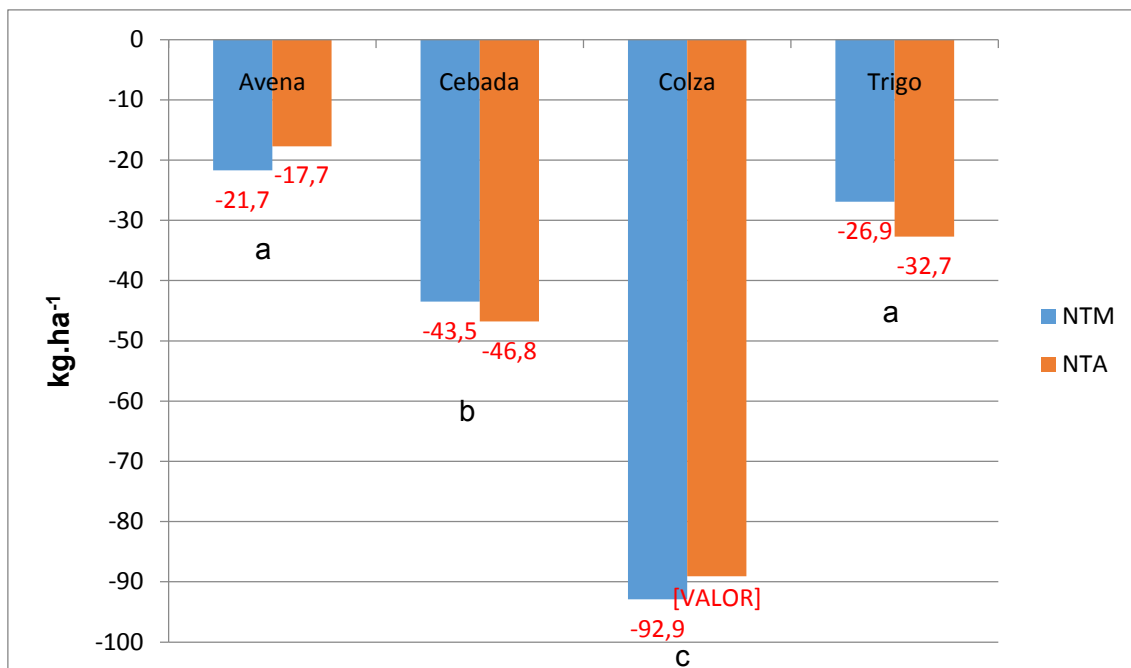


Figura 14: Balance de K de los cultivos invernales en los dos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre cultivos según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 18,82%.

El balance de K de la **soja de 2^{da}** siguió la tendencia de los rendimientos al igual que para N y P, siendo más negativos con antecesor colza y cebada que con antecesor trigo y avena (Figura 15). Los valores se ubicaron entre **-51,5** y **-85,3** kg K.ha⁻¹ y no se modificaron significativamente con el nivel tecnológico.

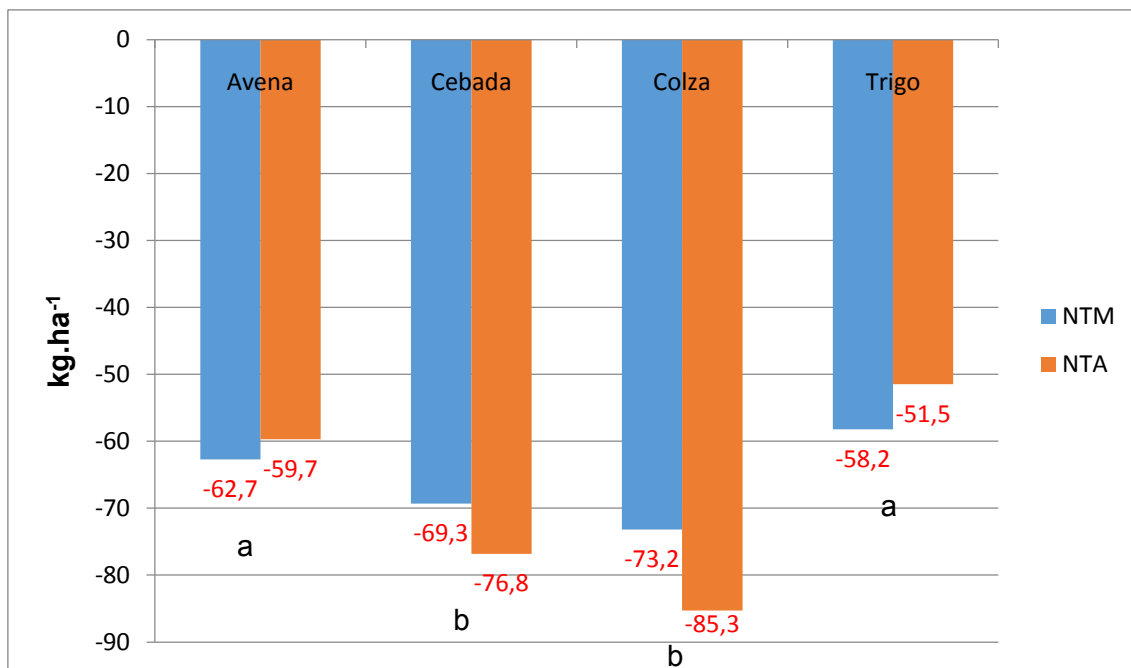


Figura 15: Balance de K del cultivo de soja de 2^{da} sobre los distintos antecesores en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre antecesores según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 11,55%.

Los balances de K de las **secuencias completas** presentaron diferencias significativas excepto entre la que tuvo avena como antecesor y la que tuvo al trigo, y variaron entre $-80,4$ y $-174,4$ kg K.ha⁻¹ para avena y colza respectivamente. El nivel tecnológico no afectó este resultado (Figura 16).

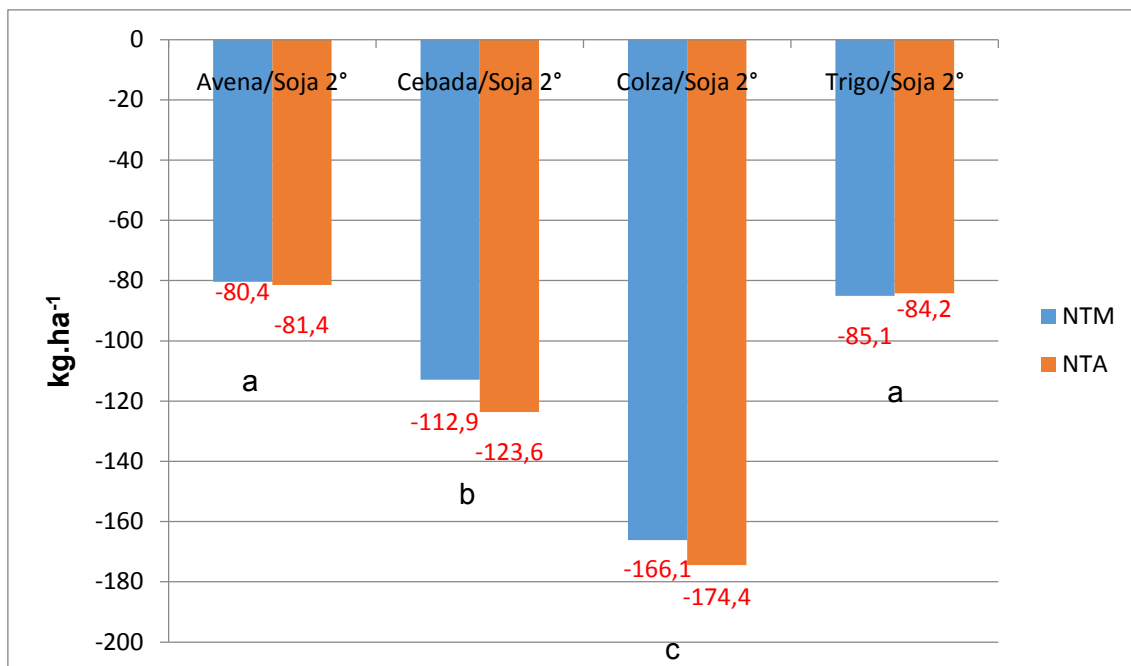


Figura 16: Balance de K de la secuencia completa en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre secuencias según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 9,24%.

Los **balances de S** de los **cultivos invernales** variaron entre **-10,6** y **-23,2** kg S.ha⁻¹ (Figura 17). Hubo interacción estadísticamente significativa Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico. Mientras que no se diferenciaron los niveles tecnológicos para los cereales, en la colza, el NTM registró un balance notablemente más negativo que el NTA porque en el primer tratamiento no recibió fertilización con S y en este último sí, mientras que los cereales no recibieron fertilizante azufrado en ninguno de los dos planteos tecnológicos.

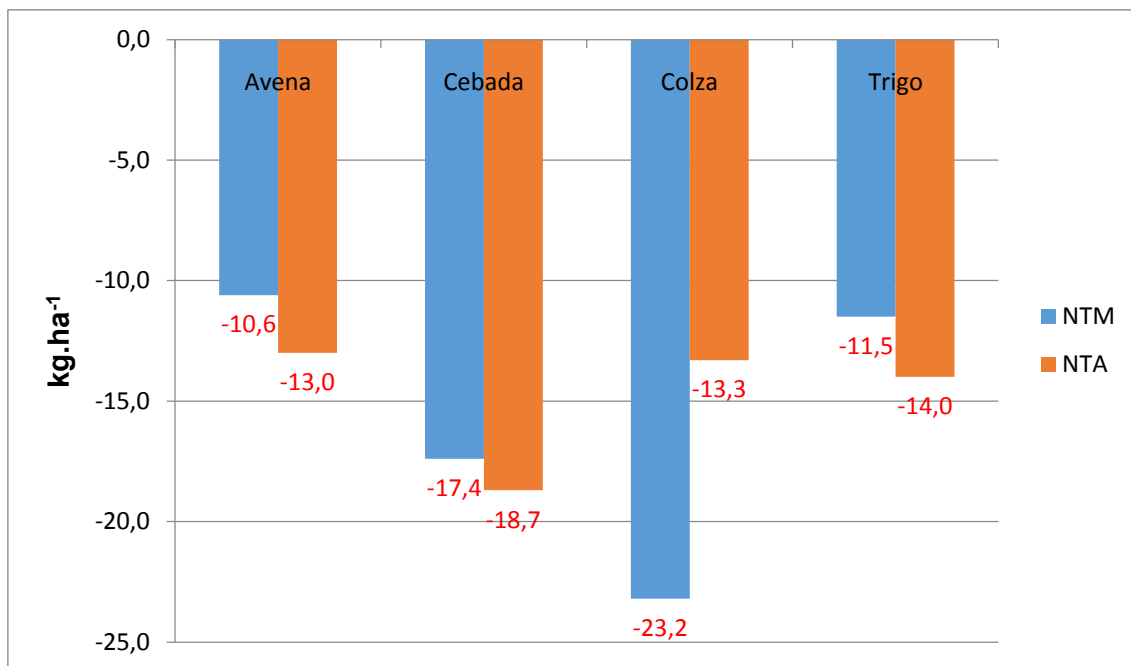


Figura 17: Balance de S de los cultivos invernales en los dos niveles tecnológicos.

Coefficiente de variabilidad: 17,12%.

El balance de S de la **soja de 2^{da}** también siguió la tendencia de los rendimientos al igual que N, P y K, siendo más negativos con antecesor colza y cebada que con antecesor trigo y avena (Figura 18). Los valores estuvieron entre **-7,9** y **-13,6** kg S.ha⁻¹ y no se modificaron significativamente con el nivel tecnológico. La interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico no fue significativa estadísticamente.

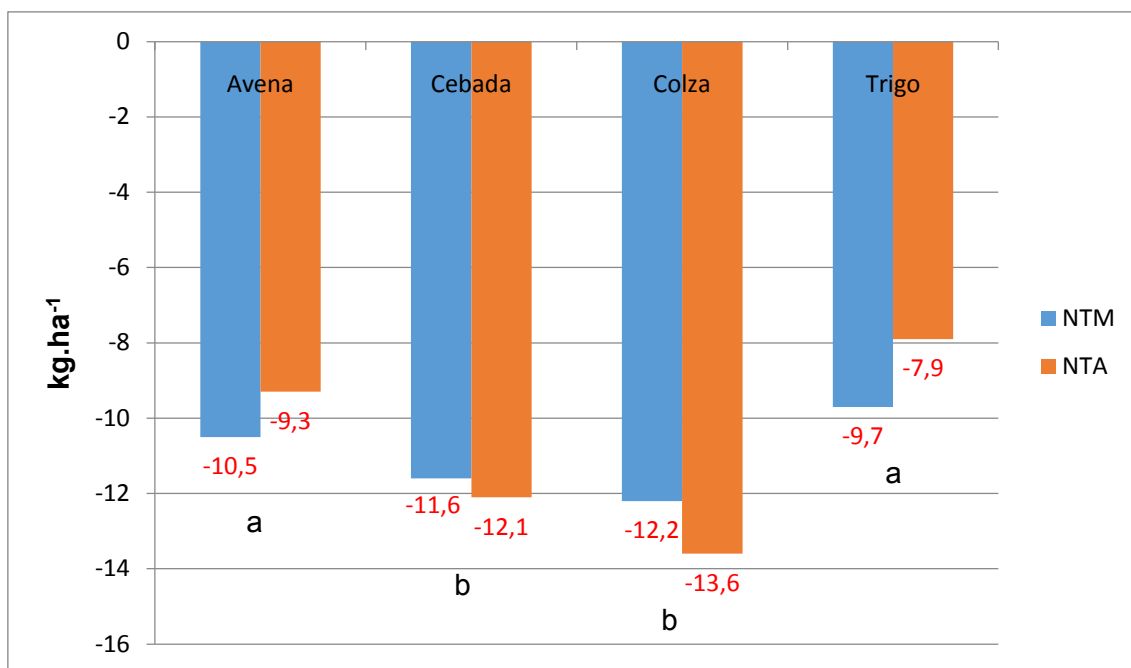


Figura 18: Balance de S del cultivo de soja de 2^{da} sobre los distintos antecesores en ambos niveles tecnológicos.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre antecesores según el test de Tukey ($P < 0.05$). Coeficiente de variabilidad: 11,90%.

Los balances de S de las **secuencias completas** variaron entre **-21,1** y **-35,4** kg S.ha⁻¹ (Figura 19). Se comportaron de manera similar que en los cultivos de invierno y hubo interacción estadísticamente significativa Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico debido a la fertilización con S en la secuencia que tenía a la colza como antecesor en el NTA. Esto condujo a que mientras en las secuencias con cereales los balances se hicieran más negativos en el NTA, en la secuencia con colza en NTA el balance fue considerablemente menos negativo que el NTM. Los balances más favorables fueron los de las secuencias con avena y trigo como antecesores, mientras que el más negativo fue para la secuencia con antecesor colza en el NTM.

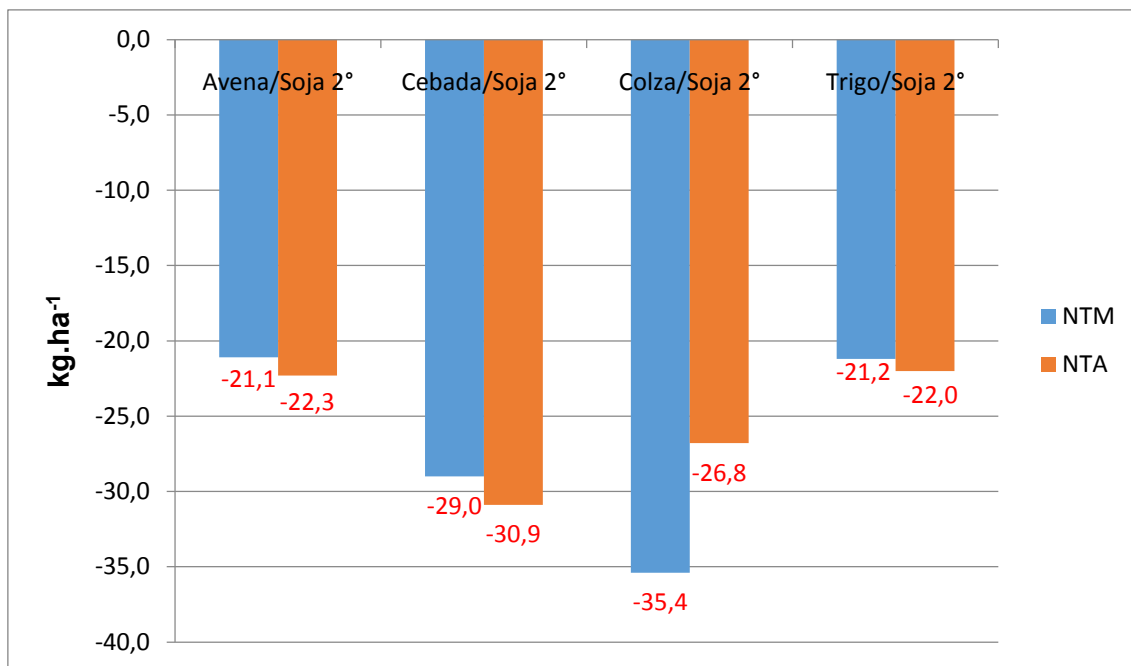


Figura 19: Balance de S de la secuencia completa en ambos niveles tecnológicos.

Coefficiente de variabilidad: 10,27%.

6. DISCUSIÓN:

Confirmando lo observado por García (2003), Cruzate & Casas (2009), Chamorro & Sarandón (2012) y Cordone (2012) en numerosos cultivos y rotaciones de cultivos en la región pampeana, los balances de nutrientes en el presente trabajo resultaron negativos para todas las secuencias en los dos niveles tecnológicos.

Los balances de nutrientes son determinados por las salidas de nutrientes del sistema, es decir, el rendimiento en grano y la composición de los mismos, y por las entradas, de las cuales aquí sólo se consideraron la fertilización mineral y la fijación biológica de N₂ atmosférico en el cultivo de soja. Los granos cosechados tienen distintas composiciones: la soja tiene mayor contenido proteico (y por lo tanto, de N) que la colza, y ésta que los cereales (Ciampitti & García, 2009; Cruzate & Casas, 2009;

García & Correndo, 2013). La soja y la colza, como oleaginosas, tienen mayores contenidos de P que el trigo, la avena y la cebada (Echeverría & García, 2005; Grant, 2014). Y la colza, particularmente, contiene mucho más K y S que los otros cultivos evaluados (Canola Council of Canada, 2018).

Pero además, los cultivos difieren en su producción. Entre los de invierno, la colza, por producir granos con altos porcentajes de aceite y proteína (compuestos altamente energéticos) tuvo rendimientos notablemente menores a los de los cereales, modificando así las diferencias en los balances de nutrientes atribuibles solamente a la composición de los granos.

Adicionalmente, en la soja, se registró el “efecto antecesor” obteniendo diferentes rendimientos según el cultivo precedente, lo cual, como consecuencia, determinó diferencias en sus balances parciales de nutrientes. Esto se explica principalmente por las distintas fechas de siembra. La colza liberó el lote las primeras semanas de noviembre, permitiendo una fecha de siembra temprana del cultivo estival. La cebada liberó el lote la última semana de noviembre, por lo tanto una siembra relativamente temprana también de la soja de 2^{da}. En cambio, la avena desocupó el lote a principios de diciembre al igual que el trigo, atrasando la fecha de siembra de la soja de 2^{da} aproximadamente 30 días con respecto a la colza y ubicando el periodo crítico de llenado de granos en el mes de marzo, donde disminuyó la radiación incidente, bajó su eficiencia de conversión y el fotoperiodo corto produjo una reducción del periodo de llenado de granos (Andrade y Cirilo, 2000).

El nivel tecnológico tuvo menor impacto que la secuencia de doble cultivo. En parte, esto tuvo que ver con que se evaluó el nivel tecnológico que el productor considera alto, definido principalmente por razones económicas o financieras. Esto significa que en este nivel tecnológico se aplican más y distintos fertilizantes respecto al productor promedio de la zona, que se hizo un control sanitario diferente o que se modificó la

variedad utilizada, pero siempre teniendo presente la relación costo/beneficio como factor de decisión. El impacto del NTA sobre los rendimientos se observó en distintas medidas en los cultivos de invierno pero no fue significativo en la soja y, en general, la reposición vía fertilización (o fijación biológica para el caso del N) no revirtió los balances negativos de nutrientes. Esto ha sido observado por otros autores: según García (2003) en la Región Pampeana, en el periodo 1996-2001, se aplicó sólo el 29%, 45%, 1% y 9% del N, P, K y S exportados por los cultivos maíz, trigo, soja y girasol. Cruzate & Casas (2009) indican que para la campaña 2006/7, en la Argentina, sólo se repuso un 34,2% de lo extraído por los cultivos, y unos años más tarde, Cordone (2012) informa una reposición del 37%. En esta experiencia, únicamente se observaron mejoras sustanciales (balances de nutrientes menos negativos, aunque no alcanzaron el equilibrio) en la secuencia Colza/Soja de 2^{da} para el P y para el S, debido a que los altos requerimientos de estos nutrientes por parte de la colza (Ciampitti & García, 2009; Grant, 2014; Canola Council of Canada, 2018) hacen que, usualmente, se fertilice o se lo haga en mayor medida que en otros cultivos.

Estos resultados evidencian una de las problemáticas asociadas al manejo de nutrientes, la cual es necesario atender, ya que ha sido demostrado cómo la racionalidad económica (haciendo referencia como tal a considerar como factor de decisión el análisis costo-beneficio de la metodología económica convencional teniendo en cuenta sólo propiedades cuantitativas monetizables) conduce a problemas de otra índole como la degradación de los recursos (en este caso el suelo) (Flores & Sarandón, 2003; Zazo *et al.*, 2011).

Los nutrientes que tuvieron los balances más negativos en promedio fueron, el N en primer lugar con **-144,7** kg.ha⁻¹ (alcanzando valores de hasta **-173,3** kg.ha⁻¹ aproximadamente), seguido del K que, aunque haya alcanzado un valor extremo más negativo que N (**-185,3** kg.ha⁻¹), en promedio quedó en el segundo lugar con **-113,5**

kg.ha⁻¹. El P y el S presentaron balances similares considerablemente menos negativos que los anteriores alcanzando máximos de **-54,3** kg.ha⁻¹ para P y **-38,2** kg.ha⁻¹ para S. Sus valores medios fueron de **-34,7** kg.ha⁻¹ y **-26,1** kg.ha⁻¹ respectivamente. Los balances de nutrientes informados por Chamorro & Sarandón (2012), se asemejan a los obtenidos en este trabajo sólo en el orden relativo mencionado, ya que los balances que obtuvieron son notablemente menos deficitarios, lo cual podría atribuirse a los menores rendimientos de los cultivos ya que no provienen de ensayos, sino condiciones reales de producción.

Si bien todos los nutrientes resultaron en extracciones netas, no se comportaron de la misma manera: el K registró diferencias significativas entre secuencias, no así el N, y el S y el P registraron interacción significativa Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico, esto último se debió a diferentes planteos de fertilización para la colza respecto de los cereales.

Las secuencias no difirieron en sus balances de N. Dentro de cada una, a pesar de que la soja se caracteriza por su alto contenido de N, no siempre fue el cultivo que exportó más N. Extrajo cantidades mucho mayores que la colza, relativamente similares a la avena y la cebada, pero menores que el trigo, resultado condicionado claramente por los rendimientos obtenidos, ya que el rendimiento de la soja fue máximo como sucesora de la colza y mínimo como sucesora del trigo. Además, el trigo en la campaña analizada alcanzó rendimientos excepcionalmente altos que condicionaron la alta extracción de nutrientes.

En el caso del P, los resultados mostraron la mayor extracción producida por las oleaginosas respecto de los cereales, relacionado esto con sus mayores requerimientos de P (Echeverría & García, 2005; Grant, 2014; Canola Council of Canada, 2018). Lo mismo se evidenció en relación a las necesidades de azufre de la colza (Grant, 2014; Canola Council of Canada, 2018). Se puede resaltar para ambos

nutrientes, la importancia que tuvo una fertilización aplicada a la colza en el NTA, que tendió a equilibrar sus respectivos balances en la secuencia de doble cultivo. Adicionalmente, es posible que el hecho de que el P sea un nutriente de poca movilidad en el suelo, con efecto residual, haya contribuido a la mayor la producción de la soja como sucesora de colza.

Con respecto al K, la extracción de la secuencia Colza/Soja de 2^{da} casi duplicó a la de las secuencias que incluyeron cereales (-170,2 kg.ha⁻¹ para la primera y -94,6 kg.ha⁻¹ para el promedio de las secuencias con cereales como antecesores). Tanto la colza como la soja tienen alto requerimiento de este nutriente para el desarrollo del cultivo y lo exportan en sus granos en una alta proporción (28 y 16,8 kg.t⁻¹ de grano producida para colza y soja respectivamente). Es reconocido el problema de la acidificación de los suelos en la región pampeana, el cual se ha relacionado entre otras cuestiones con el cultivo de la soja (Cruzate & Casas, 2003; Gelati & Vázquez 2008). Frente a esta situación, la secuencia Colza/Soja de 2^{da}, altamente extractiva en otra base, agudizaría el problema. Por lo tanto, si se considera para un planteo productivo la secuencia que incluye a colza como antecesor, se debe pensar en una mayor fertilización con este nutriente, o prever medidas correctivas del pH del suelo como el encalado, o por el contrario, decidirse por la inclusión de alguna de las secuencias con cereales como antecesores a fin de comprometer menos la sustentabilidad del sistema.

Ante la búsqueda de posibilidades reales de obtener balances cercanos a la neutralidad pensando en la sustentabilidad de los sistemas productivos, debemos mencionar dos problemáticas que se interponen: 1- Por un lado, problemas económicos ya que, como se mencionó, incluso aquellos productores que hacen una mayor reposición, definen los nutrientes y dosis a aplicar según una respuesta en el rendimiento esperada, y no pensando en la reposición de los nutrientes extraídos con las cosechas buscando la sustentabilidad del sistema. 2- Por otro lado, existen

problemas de índole práctica. Como se pudo observar, la obtención de altos rendimientos conllevan balances de nutrientes altamente negativos y, por lo tanto, la necesidad de altas dosis de fertilizantes para reponerlos. Para algunos nutrientes, como el P, que deben ser aplicados en el momento de la siembra o antes, la aplicación de tales dosis generaría efectos fitotóxicos (de no ser posible su aplicación en dosis más pequeñas diferidas en el tiempo). Esto, además, tendría un efecto desde el punto de vista económico al aumentar el número de labores.

Tampoco debe dejar de señalarse que aquí sólo se analizaron cuatro nutrientes, y que los cultivos requieren 13 macro, meso y micronutrientes minerales, de los cuales, usualmente, sólo se reponen unos pocos (N, P, K y S), por lo cual siempre se van a registrar balances negativos para aquellos nutrientes con los cuales no se fertilice o se realicen otras prácticas que los aporten. De intentar reponerlos, existiría, incluso, el problema práctico de que no hay fertilizantes comerciales para todos ellos.

Con respecto a la colza como posibilidad factible de incluirse en una secuencia de doble cultivo con soja y en reemplazo de cualquiera de los cereales, se puede mencionar que este cultivo presentó la ventaja de, además de obtener un rendimiento considerable, haber desocupado más temprano la parcela que los otros cultivos de invierno lo que se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo de soja de 2^{da}. Más allá de esto, los niveles de extracción de nutrientes de la colza son considerablemente más importantes que los cereales, punto importante a tener en cuenta pensando en la sustentabilidad.

En general, el manejo con un NTA no mejoró el balance de los distintos nutrientes frente al manejo bajo un NTM. Sólo en los casos particulares de P y S en el NTA del cultivo de colza resultaron menos negativos y más acorde con un “planteo productivo sustentable”, pero al analizar la secuencia completa, los balances arrojaron valores negativos de consideración. Por lo tanto, se podría pensar para un NTA otras prácticas

para que la secuencia logre balances más sustentables como, por ejemplo, secuencias más amplias que incluyan un cierto número de años con pasturas perennes, cultivos de servicio (de cobertura), abonos verdes y aportes de materia orgánica como estercolado.

Se resalta la importancia del balance simplificado de nutrientes como herramienta para la evaluación parcial de la sustentabilidad del sistema productivo.

La realización de análisis de suelos es de suma importancia y altamente recomendable a incorporar como práctica junto al balance de nutrientes del mismo ya que determinarán la correcta cantidad de fertilizante llevando a cabo un eficiente uso de nutrientes para cada situación particular (Bruulsema *et al.*, 2008).

7. CONCLUSIONES:

- La primera hipótesis planteaba que el balance de nutrientes de la secuencia Colza/Soja de 2^{da} sería más deficitario que el de las secuencias que incluyen cereales debido a la condición de oleaginosa de la colza, con mayores requerimientos de nutrientes. Los resultados presentados no la apoyan, ya que los balances de N fueron similares entre las cuatro secuencias de cultivos, y los de P y S presentaron interacción Secuencia de cultivos x Nivel tecnológico, sólo se registró un balance más negativo para Colza/Soja de 2^{da} en el caso del K, debido a los elevados requerimientos de este nutriente por parte de la colza.
- La interacción mencionada tampoco permite aceptar la segunda hipótesis, que planteaba que el manejo de los cultivos con un nivel tecnológico más alto, que incluye una mayor reposición de nutrientes por fertilización, mejoraría el balance de nutrientes del suelo. Esto sólo se dio en el caso particular del P y del S en la secuencia Colza/Soja de 2^{da}. En el NTA no se repuso K, por lo que

los balances de este nutriente fueron aún más negativos. Las mayores dosis de N en el NTA no fueron suficientes para mejorar los balances del mismo en ninguna de las secuencias.

BIBLOGRAFÍA:

Álvarez, R., G. Rubio, C. Álvarez & R. Lavado. 2012. Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Ed. Facultad Agronomía. Buenos Aires. 423 pp.

Andrade, F.H. & A.G. Cirilo. 2000. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Andrade, F. H. & V. O. Sadras: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Médica Panamericana S.A. EEA INTA Balcarce-Facultad de ciencias agrarias UNMP. pp. 135-153.

Baigorri, H.E.J., H. Echeverría, H. Fontanetto, C. Galarza, S. Gambaudo, F.O. García & R. Melgar. 1997. Fertilidad y fertilización. En: Giorda, L.M. & H.E.J. Baigorri. El cultivo de la soja en Argentina (Ed) Editar, Córdoba, Argentina. pp 203-210.

Berardo, A. 2004. Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS), vol. 23, pp: 23-25.

Bitar, S. 2014. Las tendencias mundiales y el futuro de América Latina. Serie gestión pública N° 78, CEPAL, pp: 15-19.

Bragachini, M., C. Casini & J. Pognante. 2011. Siembra directa. Actualización técnica N° 58. INTA EEA Manfredi. 28 pp.

Bruulsema, T., F. Chen, F. Garcia, S. Ivanova, S. Li, N. Rao & C. Witt. 2008. A global framework for best management practices for fertilizer use. Disponible en: <http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/88bde1cf>

[66b7be52852573f0004ec075/\\$FILE/IPNI%20Concept%20Paper%201%20Global%20BMP%20Framework.pdf](https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/crop-nutrition/crop-nutrition/) Último acceso: marzo de 2018.

Canola Council of Canada. 2018. Crop nutrition. Disponible en: <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/crop-nutrition/crop-nutrition/> Último acceso: marzo de 2018.

Casas, R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Anales Tomo LX, pp: 37-58.

CETIOM. 1988. Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains. Colza d'hiver. Cahier Technique; CETIOM Ed.: Paris, France. 30 pp.

Chamorro, A. & S.J. Sarandón. 2012. Cambios en el uso de la tierra por la actividad agrícola: la necesidad de su evaluación para disminuir su impacto ambiental. En I Jornadas Nacionales de Ambiente: Trabajos completos/coordinado por Ana Ulberich *et al.*, 1a ed. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2012. E-Book ISBN 978- 950-658-315-6: 447-462.

Ciampitti, I. & F. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Archivo Agronómico N°11. IPNI (Internacional Plant Nutrition Institute). 4 pp.

Ciampitti, I. & F. García. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico N° 11. IPNI. pp: 13-16.

Cordone, G. 2012. La Argentina sólo repone el 37% de los nutrientes del suelo. Disponible en: www.pregonagropecuario.com Último acceso: marzo de 2015.

Cruzate, G. & R. Casas. 2003. Balance de nutrientes. Revista Fertilizar. Número Especial Sostenibilidad. Año 8: 7-13.

Cruzate, G.A. & R. Casas. 2009. Extracción de nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI). 44: 21-26.

Duval, M., J.M. Martinez, J. Iglesias, J.A. Galantini & L. Wall. 2015. Secuencia de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. En: Impacto de los sistemas actuales de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo: efectos sobre los balances de carbono. E de Sá Pereira, G Minoldo & JA Galantini (Ed). Ediciones INTA. Coronel Suárez, Buenos Aires. Pp: 51-55.

Echeverría, H. & F. García (ed.). 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. 525 pp.

Elverdin, P., V. Piñeiro & M. Robles. 2017. El agro argentino: Un sistema productivo y organizacional eficiente. International Food Policy Research Institute, pp: 2-10.

Engler, P.L., G.R. Vicente & R.A. Cancio. 2008. La colza en los sistemas agrícolas entrerrianos: Una oportunidad como cultivo de invierno. Proyecto Regional Entre Ríos '05: Herramientas de economía agraria para el desarrollo regional. Grupo de Sistemas de Producción y Economía INTA EEA Paraná. pp. 1-8. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-colza-en-sistemas-agricolas-entrerrianos-una-opo.pdf> Último acceso: diciembre de 2017.

Etchegoyen, J. 2011. Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de soja. Partido de Magdalena, Pcia de Buenos Aires. 1ra aproximación. Trabajo final de Carrera Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 71 pp.

FAO. 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Informe resumido, pp: 38-43.

FAO. 2017. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural inclusiva, pp: V-VII.

Fehr, W. & C. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa. 11 pp.

Ferrari, M. 2010. ¿Nuestros actuales sistemas de producción agrícola son ambientalmente sustentables? Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI), vol. 48, pp: 6-10.

Flores, C & S. Sarandón. 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? Revista de la Facultad de Agronomía, vol. 105, pp: 57-61.

Flores, C.C. & S.J. Sarandón. 2003. El manejo sustentable de los nutrientes del suelo y su incompatibilidad con la visión económica convencional: el caso de Tres Arroyos, Argentina. Actas del I Congreso Brasileiro de Agroecología, IV Seminario Internacional sobre Agroecología, V Seminario Estatal sobre Agroecología, Porto Alegre, Brasil (Publicado en CD). PP 1-4.

Forján, H. 2003. Balance de nutrientes en sistemas agrícolas. AgroBarrow, septiembre de 2003, pp: 17-19.

Forján, H.J., M.L. Manso & M. Zamora. 2012. Evolución del contenido de materia orgánica en rotaciones agrícolas. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina, 16-20 de abril de 2012. 6 pp.

García, F. & A. Correndo. 2013. Cálculo de requerimientos nutricionales. IPNI Programa Latinoamérica Cono Sur. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>. Último acceso: febrero 2018.

García, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: impacto en rendimiento y calidad de suelos. Revista Fertilidad y Fertilización, Aapresid, pp: 60-65.

García, F.O. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS), vol.: 29, pp: 13-16.

García, F.O. 2011. Balance de carbono y de nutrientes: buscando el equilibrio en la agricultura del Cono Sur. Simposio Nacional de Agricultura: 135-147. FAGRO – GTI Agricultura, 29-30 de septiembre de 2011, Paysandú, Uruguay. Disponible en: <http://www.agrosustentable.com.ar/Archivos/FernandoGarciaINPIErosion2.pdf>. Último acceso: diciembre de 2017.

Gelati, P. & M. Vázquez. 2008. Extracción agrícola de bases en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas. Revista iberoamericana de economía ecológica. 7: 117-129.

Ghida Daza, C. 2013. Valoración económica del balance de nutrientes en la Provincia de Córdoba. Información para Extensión 141, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez, INTA. 9 pp. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/valoracion-economica-del-balance-de-nutrientes-en-la-provincia-de-cordoba/> Último acceso: diciembre de 2017.

González, N. 2002. Nutrición nitrogenada del cultivo de la soja. Uso de inoculantes. Actas de 19ª Jornadas de Actuación Profesional. INTA-FCA UNM del Plata-CIAM.

Grant, C. 2014. Managing canola nutrition for crop vigor, yield and nutrient efficiency. Actas del 1º Simposio Latinoamericano de Canola, Passo Fundo, Brasil. Disponible en:

<http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/CYNTHIA%20GRANT%20Nutrient%20Management%20in%20Canola.pdf> Último acceso: marzo de 2018.

INDEC. 2017. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Disponible en: https://www.indec.gob.ar/cna_index.asp Último acceso: enero de 2017.

Iriarte, L. 2009. Colza: un poco de historia, situación actual y perspectivas. AgroBarrow 43: 12-14.

Iriarte, L.B. & Z.B. López. 2014. El cultivo de colza en Argentina. Situación actual y perspectivas. Actas del 1º Simposio Latino Americano de Canola. Passo Fundo, RS, Brasil. 7pp. Disponible en: <http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Iriarte%20%20-%20Desarrollo%20del%20cultivo%20de%20colza%20en%20Argentina....pdf>. Último acceso: marzo de 2018.

Iriarte, L.B. 2002. Cultivo de colza en la región, antecedentes del cultivo, información disponible. En: Seminario Cultivo de Colza. Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAAyP-INTA). Tres Arroyos, octubre 28 de 2002. p: 4-5.

Lanfranco, J.W. & Carrizo. 1988. Cartas de suelo de la Estación Experimental Julio Hirschhon. Sin editar.

Manso, M.L. & H.J. Forján. 2012a. La materia orgánica del suelo. En: Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencias. H Forján & L Manso (Ed). Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Tres Arroyos, Argentina, pp: 41-47.

Manso, M.L. & H.J. Forján. 2012b. Materia orgánica en distintas rotaciones luego de 12 años bajo siembra directa. Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina, pp: 1-6.

- Maroni, R. & R. Medera.** 1989. Manual práctico de máquinas para la labranza. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, pp: 17-18.
- Méndez, A., M. Bragachini, F. Scaramuzza, J. Velez, D. Villarroel, N. Juan & H. Woycik.** 2009. Monitoreo de rendimiento y calidad en cebada en el partido de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. INTA Manfredi. Proyecto Agricultura de Precisión. Trabajo presentado en el CADIR 2009. Rosario, Santa Fe. 8 pp.
- Pengue, W.A.** 2005. Deuda ecológica con la agricultura: Sustentabilidad débil y futuro incierto en la pampa argentina. *Ecología Política*, vol. N° 29, pp: 55-74.
- Pilatti, M., J. de Orellana, L. Priano, O. Felli & D. Grenón.** 1988. Incidencia del manejo tradicional y conservacionista sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un Argiudol del sur de Santa Fe. *Ciencia del Suelo*, pp: 19-29.
- Pozzolo, O., H. Ferrari, & J. Curró.** 2008. Colza-canola, una alternativa para la región. AER INTA Concepción del Uruguay, Argentina. pp. 1-3.
- Reboratti, C.** 2010. Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. *Revista de Geografía Norte Grande*, N° 45, pp: 63-76.
- Salvagiotti, F.** 2004. El manejo de los nutrientes y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. En: *Revista técnica de Aapresid: Fertilidad en siembra directa 2004*, pp: 75-78.
- Salvagiotti, F., K.G. Cassman, J.E. Specht, D.T. Walters, A. Weiss & A. Dobermann.** 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research* 108:1-13.
- Satorre, E.H.** 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy*, vol. 15, N° 87, pp: 24-31.

Tomaso, J.C. 2011. Cereales menores de invierno. INTA Bordenave, Buenos Aires. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210287.pdf>. Último acceso: febrero 2018.

Violic, A, D. 1998. Labranza convencional y labranza de conservación: definición de conceptos. En: Barreto, H., R. Raab, A. D. Violic & A. Tasistro (Ed.) Labranza de conservación en maíz. CIMMYT, México. 202 pp.

Zadoks, J. C., T.T. Chang & C.K. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Research. Vol.:14, pp: 415-421.

Zazo, F., C.C. Flores & S.J. Sarandón. 2011. El “costo oculto” del deterioro del suelo durante el proceso de “sojización” en el Partido de Arrecifes, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología, vol.: 6, pp: 3-20.

ANEXO 1:

Tabla 4: Descripción morfológica de la serie Bombeador.

Ap	0 – 14 cm	Pardo amarillento grisáceo (19 YR 4/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en seco; textura franco limosa a franca; estructura semimigajosa, media, moderada; consistencia ligeramente dura en seco; friable en húmedo y ligeramente plástica y ligeramente adhesiva en mojado; raíces abundantes y finas; límite abrupto, suave
A	14 – 25 cm	Pardo amarillento grisáceo (10 YR 4/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; textura franca limosa a franca; estructura granular, media, moderada; consistencia ligeramente dura, friable, ligeramente plástica, ligeramente adhesiva; raíces comunes y finas; límite abrupto, suave
2 Bt1	25 – 40 cm	Pardo amarillento grisáceo (10 YR 4/3) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; textura arcillosa; estructura en prismas compuestos irregulares, medios, fuertes que rompen en bloques angulares irregulares, medios, fuertes; consistencia dura en seco, friable en húmedo, plástico y adhesivo en mojado; barnices abundantes y finos de arcilla; raíces escasas y finas; límite suave y claro
2 Bt2	40 – 70 cm	Pardo amarillento suave (10 YR 5/3) en seco y negro parduzco (10 YR 3/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura en prismas compuestos irregulares, medios, fuertes que rompen en bloques angulares irregulares; gruesos y fuertes; consistencia muy dura en seco, firme en húmedo, muy plástico y muy adhesivo, barnices muy abundantes y finos de arcilla; raíces ausentes; límite suave y gradual
3 BC1	70 – 110 cm	Pardo amarillento suave (10 YR 5/4) en seco y pardo (10 YR 4/4) en húmedo; textura arcillosa; estructuras en prismas compuestos; gruesos, moderada a bloques subangulares medios, débil a masivo, consistencia en seco muy dura, firme en húmedo, muy plástico y muy adhesivo en mojado; barnices finos y abundantes; raíces ausentes; límite suave y difuso
3 BC2	110 – 165 cm	Pardo amarillento suave (10 YR 5/4) en seco y pardo (10 YR 4/4) en húmedo, textura franco arcillosa a franco arcillo limosa; estructura en bloques subangulares, gruesos, débiles a masivo; consistencia en seco; ligeramente dura, friable en húmedo, plástico y adhesivo en mojado; barnices finos y comunes de arcilla; raíces ausentes; límite suave y difuso
3 BC3	165 – 190 cm	Amarillo anaranjado suave (10 YR 6/3) en seco y pardo amarillento (10 YR 4/3) en húmedo; textura franco limosa, estructura masiva; consistencia ligeramente dura en seco, friable en húmedo, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo en mojado; barnices finos y comunes de arcilla; raíces ausentes límite suave y difuso
3 C	190 – 200 cm	Amarillo anaranjado suave (10 YR 6/1) en seco y pardo amarillento (10 YR 4/3) en húmedo; textura franco limosa; estructura masiva; consistencia en seco blanda, friable en húmedo, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo en mojado; barnices escasos y finos; ausencia de raíces

ANEXO 2:

Información complementaria de los diferentes cultivos y del manejo de los mismos.

Para el control de malezas se incorporó 1,6 l.ha⁻¹ de un herbicida residual (Trifluralina), con una pasada de rastra de discos y una pasada de rastra de dientes. Dicho tratamiento fue realizado en las cuatro secuencias y en los dos niveles tecnológicos. La fecha de los tratamientos fue el 19/5/2011.

Durante el ciclo de los distintos cultivos se realizó el seguimiento y control de las distintas adversidades (enfermedades, malezas y plagas) a fin de identificar aquellas que pudiesen tener un efecto limitante en la producción.

Avena, cebada y trigo:

Las variedades utilizadas fueron: avena Bonaerense INTA Calén de excelente aptitud tanto para pastoreo como para cosecha de grano. Presenta buen macollaje, alta resistencia al vuelco, madurez precoz y moderada susceptibilidad a roya del tallo y a roya de la hoja; cebada Scarlett de excelente relación producción/calidad maltera. Tiene una madurez precoz con rápido secado del grano, rendimiento elevado y con óptimos valores de proteína. Es una variedad muy resistente a oídio y a roya; y por último trigo Buck Meteoro de ciclo intermedio, sensible al fotoperiodo y de amplia plasticidad en fechas de siembra.

Para los tres cultivos se aplicó Misil II en dosis según marbete (0,1 litro.ha⁻¹ de Dicamba y 6,7 gramos.ha⁻¹ de Metsulfurón Metil) el día 1/9/2011.

Se evaluó incidencia y severidad de enfermedades. También se evaluó la presencia de plagas. En ambos casos no fue necesario el control.

Colza:

Se utilizó la variedad Hyola 571 de Advanta, híbrido precoz que desocupa temprano el lote pudiendo adelantar la fecha de siembra del cultivo de segunda.

No se registró ataque de pulgones ni se observó incidencia de *Sclerotinia*. Por lo tanto no fue necesario realizar los respectivos controles. Si se aplicó 200 cm³ de cipermetrina para controlar *Nysius simulans*.

Soja:

Este cultivo (de segunda) se sembró acorde a como se desocupaban las parcelas, por lo tanto en la tabla 3 se especifica cultivo antecesor, fecha de siembra y la variedad utilizada. Todas las variedades utilizadas fueron de la firma DonMario.

El control de malezas se realizó con una aplicación de 3,5 l.ha⁻¹ de Glifosato.

No se aplicó fungicida para controlar enfermedades de fin de ciclo porque no se registraron condiciones predisponentes. El cultivo se observó sano.

Para el control de *Elasmopalpus lignosellus* y *Nezara viridula* se realizaron aplicaciones con 100 cm³.ha⁻¹ de cipermetrina + 1 l.ha⁻¹ de dimetoato y 100 cm³.ha⁻¹ de cipermetrina + 1,5 l.ha⁻¹ de endosulfán respectivamente.

ANEXO 3:

Tabla 5: Fertilizantes utilizados y grado de los mismos.

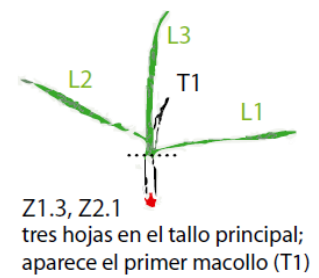
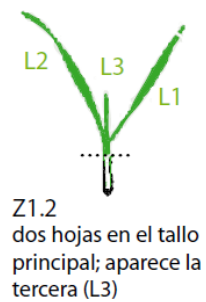
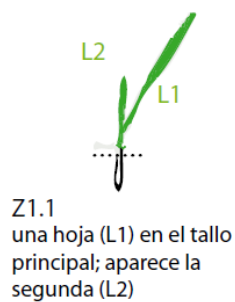
Fertilizante	Grado
Fosfato diamónico (DAP)	18-21-00
Urea	46-00-00
Fosfato monoamónico azufrado	11-34-00 + 9% S
Niebla (líquido)	9-2,6-00 + 5,5% S

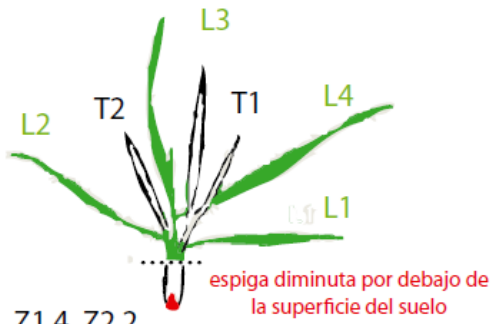
ANEXO 4:

Tabla 6: Fases de desarrollo del cultivo de trigo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9).

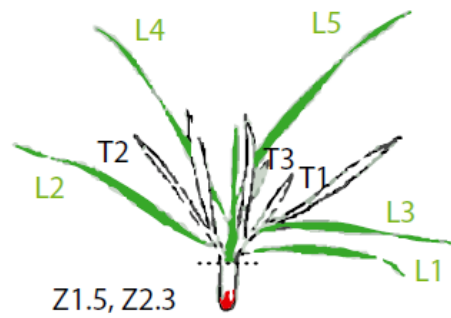
Etapa principal	Descripción	Subfase	Etapa principal	Descripción	Subfase
0	Germinación	0.0-0.9	5	Espigado	5.0-5.9
1	Producción de hojas TP	1.0-1.9	6	Antesis	6.0-6.9
2	Producción de macollos	2.0-2.9	7	Estado lechoso del grano	7.0-7.9
3	Producción de nudos TP (encañado)	3.0-3.9	8	Estado pastoso del grano	8.0-8.9
4	Vaina engrosada	4.0-4.9	9	Madurez	9.0-9.9

Según J.C. Zadoks, T.T. Chang y C.F.



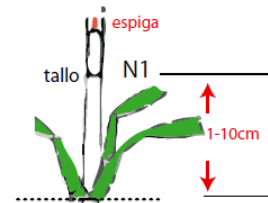
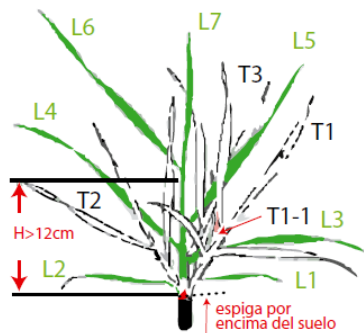


Z1.4, Z2.2
cuatro hojas en el tallo principal; dos macollos: T1 tiene dos hojas, T2 tiene una hoja



Z1.5, Z2.3
cinco hojas en el tallo principal; tres macollos: T1 tiene tres hojas; T2 tiene dos hojas; T3 tiene una hoja

Z1.7, Z2.4
siete hojas en el tallo principal; cuatro macollos: T1 tiene cuatro hojas y T1-1, T2 tiene tres hojas; T3 tiene dos hojas **este estadio es Z3.0 si...** la altura (H) es 12 cm o más y el tallo se ha elongado levantando la espiga por encima de la superficie del suelo



Z3.1
primer nudo (N1) perceptible (el diagrama no incluye los macollos y muchas de las hojas)



Z3.9
hoja bandera totalmente emergida



Z4.3
espiga a la altura del cuello de la penúltima hoja



Z5.5
mitad de la espiga visible

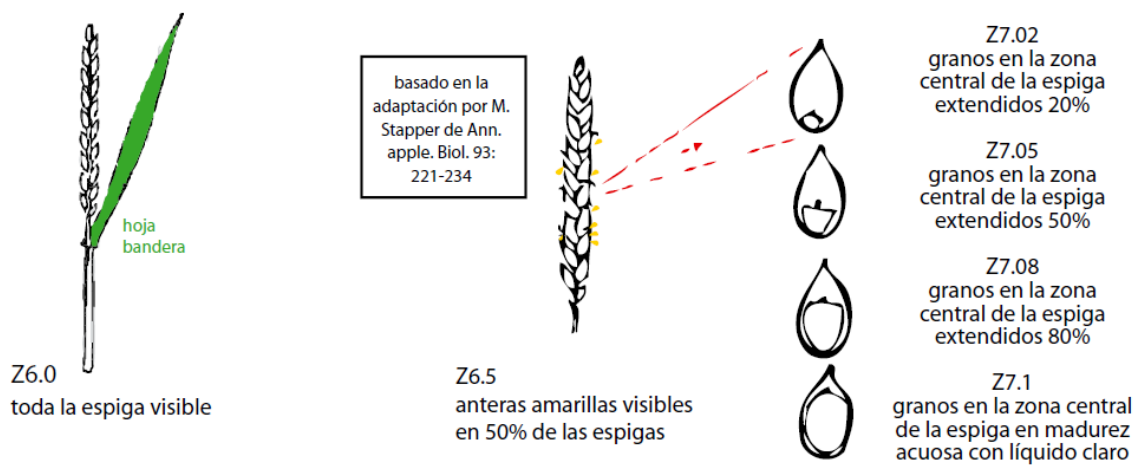


Figura 20: Descripción gráfica de los estados fenológicos del cultivo de trigo.

Tabla 7: Fechas de ocurrencia de los distintos estados fenológicos del cultivo de avena.

Estado	Fecha
Fecha de siembra	08/07/2011
Inicio de macollaje	23/08/2011
Pleno macollaje	29/09/2011
Inicio de encañazón	04/11/2011
Cuaje	20/11/2011
Grano pastoso	25/11/2011
Cosecha	05/12/2011

Tabla 8: Fechas de ocurrencia de los distintos estados fenológicos del cultivo de cebada.

Estado	Fecha
Fecha de siembra	08/07/2011
Inicio de macollaje	15/08/2011
Pleno macollaje	19/09/2011
Inicio de encañazón	20/10/2011
Cuaje	04/11/2011
Grano pastoso	20/11/2011
Cosecha	25/11/2011

Tabla 9: Fechas de ocurrencia de los estados fenológicos del cultivo de trigo.

Estado	Fecha
Fecha de siembra	08/07/2011
Inicio de macollaje	07/08/2011
Pleno macollaje	23/09/2011
Inicio de encañazón	26/09/2011
Antesis	26/10/2011
Cuaje	04/11/2011
Grano pastoso	20/11/2011
Cosecha	10/12/2011

Tabla 10: Escala de los principales estados fenológicos de colza. Clave utilizada por el CETIOM.

Estado	Descripción
Nacimiento	Las plantas jóvenes marcan la línea.
Plántula	A. Estado cotiledóneo. No hay hojas “verdaderas”. Sólo dos cotiledones visibles.
Roseta	<p>B1. Una hoja verdadera desplegada.</p> <p>B2. Dos hojas verdaderas desplegadas.</p> <p>B3. Tres hojas verdaderas desplegadas.</p> <p>Bn. n hojas verdaderas desplegadas.</p> <p>C1. Aumento de vegetación. Aparición de hojas jóvenes.</p>
Elongación	<p>C2. Entrenudos visibles. Se ve un estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos pecíolos: es el tallo.</p> <p>D1. Yemas unidas, todavía escondidas por las hojas terminales.</p> <p>D2. Inflorescencia principal despejada. Yemas unidas. Inflorescencias secundarias visibles.</p> <p>E. Yemas separadas. Los pedicelos florales se alargan comenzando por los de la periferia.</p>
Floración- Maduración	<p>F1. Primeras flores abiertas.</p> <p>F2. Alargamiento de la vara floral. Numerosas flores abiertas.</p> <p>G1. Caída de los primeros pétalos. Las diez primeras silicuas tienen un</p>

	<p>largo inferior a 2 cm. La floración de las inflorescencias secundarias comienza a ocurrir durante el transcurso de este estado.</p> <p>G2. Las 10 primeras silicuas tienen un largo comprendido entre 2 y 4 cm.</p> <p>G3. Las 10 primeras silicuas tienen un largo superior a 4 cm.</p> <p>G4. Las 10 primeras silicuas comienzan a madurar.</p> <p>G5. Granos coloreados.</p>
--	--

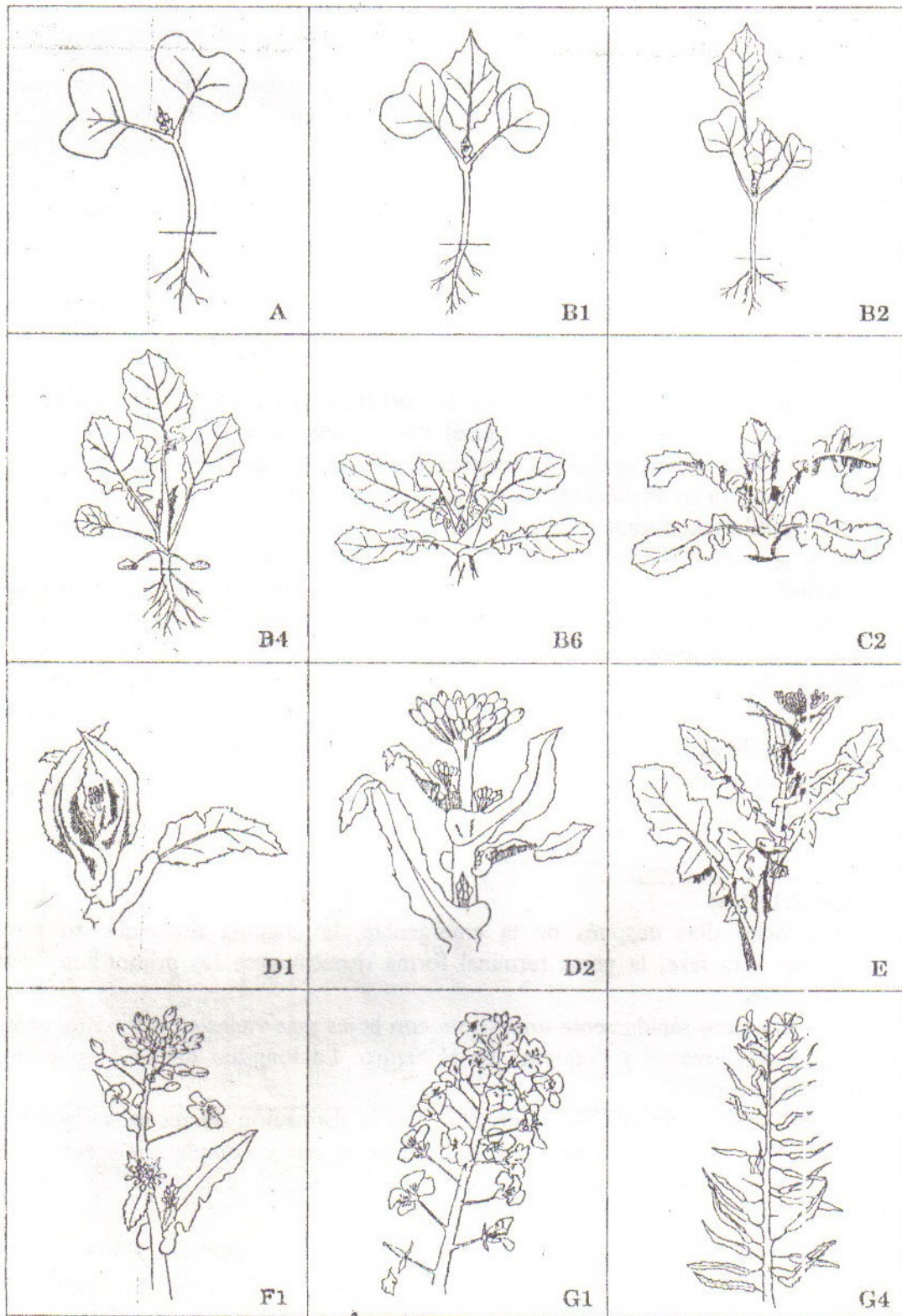


Figura 21: Descripción gráfica de los estados fenológicos del cultivo de colza.

Tabla 11: Fechas de ocurrencia de los distintos estados fenológicos del cultivo de colza.

Estado	Fecha
Fecha de siembra	24/5/11
Fin de estado de roseta (C2)	4/8/11
Inicio de floración (F1)	5/9/11
Fin de floración	11/10/11
Madurez para corte e hilerado	7/11/11

Tabla 12: Escala de los principales estados fenológicos de soja (adaptada de Fehr y Caviness, 1977).

Fase	Designación	Descripción
Ve	Emergencia	Cotiledones sobre la superficie del suelo.
VC	Cotiledonar	Hojas unifoliadas suficientemente desenrolladas de forma que sus bordes no se tocan.
V1	Primer nudo	Hojas totalmente desarrolladas en el nudo de las hojas unifoliadas.
V2	Segundo nudo	Dos nudos sobre el tallo principal con hojas totalmente desarrolladas comenzando por el nudo de hojas unifoliadas.
Vn	Nº- nudo	Número de nudos sobre el tallo principal con hojas totalmente desarrolladas comenzando por el nudo de hojas unifoliadas.

R1	Comienzo de floración	Una flor abierta en algún nudo del tallo principal.
R2	Plena floración	Una flor abierta en uno de los 2 nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada.
R3	Comienzo de fructificación	Vainas de 5 mm de largo en alguno de los 4 nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada.
R4	Plena fructificación	Vainas de 2 cm de largo en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada.
R5	Comienzo de formación de semilla	Semillas de 3 mm de largo en una vaina en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada.
R6	Tamaño máximo de semilla	Las vainas tienen semillas verdes que llenan completamente la cavidad del fruto, en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con hojas totalmente desarrolladas.
R7	Comienzo de maduración	Alguna vaina normal sobre el tallo principal ha alcanzado su color típico de madurez.
R8	Plena madurez	95% de vainas con el color típico de madurez.

Tabla 13: Fechas de ocurrencia de los distintos estados fenológicos de la soja según el cultivo antecesor utilizado y variedad de soja utilizada.

Estado	Fecha			
Cultivo	Avena/Soja DM4970	Cebada/Soja DM 4210	Colza/Soja DM 4210	Trigo/Soja DM 4970
FS	13/12/2011	02/12/2011	14/11/2011	16/12/2011
VE	18/12/2011	09/12/2011	23/11/2011	21/12/2011
R2	07/02/2012	16/01/2012	05/01/2012	07/02/2012
R5	02/03/2012	23/02/2012	07/02/2012	02/03/2012
R7	08/04/2012	24/03/2012	21/03/2012	31/03/2012
R8	13/04/2012	08/04/2012	01/04/2012	13/04/2012
Cosecha	19/04/2012	19/04/2012	04/04/2012	19/04/2012