

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Universidad Nacional de La Plata.



Trabajo final de carrera Ingeniería Agronómica.

Extracción y balance de nutrientes para el cultivo de trigo y para distintas secuencias en el área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Alumno: Voisin Axel Iván

Nº de Legajo: 26152/6

DNI: 35246540

Dirección de correo electrónico: axelvoisin@hotmail.com

Teléfono: 02352-15443031

Nombre del Director: Silvina I. Golik

Nombre del Co - Director: Adriana M. Chamorro

Fecha de entrega: 2 de agosto de 2016

RESUMEN

El desplazamiento de los sistemas de producción mixtos, la incorporación de tierras de menor aptitud para la agricultura, la gran intensificación y homogeneidad de algunos cultivos sin considerar algún tipo de rotación es un hecho evidente. Los rendimientos cada vez mayores e índices de extracción de nutrientes crecientes están generando desde hace décadas un empobrecimiento de los suelos ya que las fertilizaciones no alcanzan a reponer los nutrientes exportados. La zona de influencia de la FCAyF (UNLP) no queda afuera de este problema. Los objetivos de este trabajo fueron: i) evaluar la producción de biomasa y el rendimiento del trigo como último componente de distintas secuencias de cultivos (S1: trigo/soja 2º-maíz-soja-trigo; S2: cebada/soja 2º-maíz-soja-trigo; S3: avena/soja 2º-maíz-girasol-trigo y S4: colza/soja 2º-maíz-sorgo-trigo) bajo dos manejos tecnológicos: nivel medio (NTM: manejo del productor promedio) y nivel alto (NTA: manejo del productor de punta), ii) evaluar la extracción de nutrientes y el balance de nitrógeno (N) y fósforo (P) para el cultivo de trigo y para cada secuencia completa. Los ensayos se llevaron a cabo en la Estación Experimental J. Hirschhorn (Los Hornos), dependiente de la FCAyF, sobre un suelo Argiudol típico. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones y en parcelas divididas, correspondiendo la parcela principal a la secuencia de cultivos y la subparcela al manejo tecnológico. Los datos obtenidos se procesaron por el análisis de la varianza y se usó la prueba de Tukey para la comparación de medias ($P < 0,05$). Se utilizó el programa estadístico InfoStat.

La producción de trigo se vio modificada según la secuencia antecesora. Los mayores rendimientos se dieron cuando el antecesor inmediato fue soja, además de haber realizado las mayores extracciones de nutrientes. Los balances de N en trigo fueron negativos para tres de las cuatro secuencias y el de P fue negativo en los cuatro casos. El

nivel tecnológico no garantizo un mayor rendimiento de trigo, pero el NTA aseguro una mayor reposición de N.

Se encontraron diferencias en el rendimiento total en grano según la secuencia. Las menores extracciones de nutrientes se dieron en la S3. En los cuatro casos los balances de N y P fueron negativos. Con el NTA se logró el mayor rendimiento en grano además de asegurar una mayor reposición de N.

Se intenta reflejar el aporte que realizan las rotaciones de cultivos al sistema de producción y sobre todo la inclusión de gramíneas, que permiten atenuar la caída de la materia orgánica del suelo que produce la inclusión de soja y mejorar la estabilidad estructural a través del aporte de sus rastrojos, además de mejorar el balance de nutrientes en la rotación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
La producción agrícola en la Argentina	2
Beneficios de las rotaciones	5
Manejo de los nutrientes	7
Los sistemas productivos del área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP	9
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Manejo del cultivo de trigo.....	12

RESULTADOS	13
Caracterización climática y desarrollo del cultivo de trigo	13
Rendimiento, extracción de nutrientes y balance de nitrógeno y fósforo para el cultivo de Trigo.....	14
Rendimiento, extracción de nutrientes y balance de nitrógeno y fósforo para las secuencias completas.	15
DISCUSIÓN	17
El cultivo de trigo como último componente de las secuencias	17
Secuencias de cultivos	20
CONCLUSIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	27
Anexo 1: Tablas y Figuras	35
Anexo 2: Manejo de los cultivos anteriores al trigo	45

1 **INTRODUCCIÓN**

2 Las proyecciones de la FAO (2009) muestran que para alimentar una población
3 mundial de 9.100 millones de personas en el año 2050 sería necesario aumentar la
4 producción de alimentos en un 70 % entre 2005/7 y 2050. Se prevé que el 90 % del
5 crecimiento en la producción agrícola a nivel mundial se deba a rendimientos más altos y
6 a la intensificación de cultivos, y el restante 10 % a la incorporación de nuevas tierras.

7 La manipulación y la alteración que el ser humano hace de los ecosistemas con el
8 propósito de producir alimentos, hace que los agroecosistemas sean muy diferentes a los
9 ecosistemas naturales. Se producen cambios en el flujo de energía y ciclo de nutrientes,
10 en los mecanismos de regulación de poblaciones y en la estabilidad del sistema debido a
11 la reducida diversidad en estructura y función (Gliessman, 2002). A su vez existe una gran
12 variabilidad en el grado de diversidad, estabilidad, control humano, eficiencia de la
13 energía y productividad entre los distintos tipos de agroecosistemas (Altieri, 1999).

14 El concepto de sustentabilidad recoge un conjunto de preocupaciones sobre la
15 agricultura, concebida como un sistema económico, social y ecológico (Altieri & Nicholls,
16 2000). Sarandón (2002) plantea que un modelo agrícola se considerará sustentable
17 cuando sea económicamente viable, socialmente aceptable, suficientemente productivo,
18 que conserve la base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente en el
19 ámbito local, regional y global.

20 La intensificación en la agricultura ha provocado diversos grados de afectación en
21 los suelos agrícolas de la Argentina (Sarlangue, 2002). Los balances entre la extracción
22 de nutrientes por los cultivos y los aportes por fertilización, continúan siendo deficitarios
23 en los suelos agrícolas de la Argentina. Esto indica la existencia de sistemas productivos
24 que no son sostenibles, afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementado

1 los procesos de degradación de los suelos y, por ende, limitando el crecimiento de la
2 producción agrícola nacional (Cruzarte & Casas, 2012).

3 **La producción agrícola en la Argentina**

4 En la primera mitad del siglo XX, hubo una co-evolución entre ganadería y
5 agricultura, bajo condiciones extensivas o semiintensivas que consolidó el clásico y
6 efectivo modelo de rotación de cultivos con pasturas y forrajeras anuales (Viglizzo &
7 Jobbágy, 2010).

8 El crecimiento agrícola pampeano posterior fue posible por los aumentos de
9 productividad producidos por el gran cambio tecnológico. Durante las décadas del '50 y
10 '60 el hecho más importante fue el avance de la tractorización y difusión masiva de
11 maquinarias e implementos agrícolas. En los '70 la introducción de semillas mejoradas de
12 trigo, maíz, sorgo y girasol, y la difusión masiva de la soja y su paquete tecnológico
13 reemplazaron las variedades tradicionales de menores rendimientos, hecho que se
14 denominó revolución verde (Barsky & Dávila, 2008).

15 Hacia fines de los '80 comenzó la difusión de la siembra directa, lo que hizo que
16 los controles de malezas se hagan casi exclusivamente con herbicidas (Satorre, 2005). En
17 1996 se incorporaron al sistema productivo los cultivares de soja tolerantes a glifosato
18 (soja RR). El costo relativamente bajo del glifosato, su simplicidad de uso, espectro amplio
19 de control y gran selectividad, hizo que la diversidad de herbicidas utilizados se redujera.
20 Esta tecnología, contribuyó a la expansión del cultivo de soja hacia áreas donde en el
21 pasado no era factible, así como a la consolidación del modelo productivo predominante
22 (Papa & Tuesca, 2009).

23 En los últimos 50 años la superficie agrícola en Argentina se incrementó alrededor
24 de un 50%, mientras que la producción de granos creció un 400% (Cruzarte & Casas,

1 2012). A lo largo de toda la región pampeana, se ha producido una tendencia a prolongar
2 los ciclos agrícolas con respecto al periodo de uso ganadero, pasando de sistemas
3 productivos basados en planteos mixtos a una agricultura intensiva, pero también, lo cual
4 es más grave, se han incorporado nuevas superficies con baja aptitud para la actividad
5 agrícola (Forjan, 2004; Cruzarte & Casas, 2003).

6 La agricultura en nuestro país está fuertemente identificada con cuatro granos:
7 trigo, maíz, girasol y soja. Ello se debe tanto a la superficie dedicada a su producción
8 como a los ingresos que generan sus exportaciones (Satorre, 2005).

9 A partir de mediados de la década del '80, el trigo en combinación con soja de
10 segunda siembra permitió una alternativa de mayor intensificación en el uso del suelo a la
11 vez que mejoraba la eficiencia económica y financiera. Sin embargo, en la última década,
12 problemas climáticos y de comercialización hicieron que la superficie con trigo disminuya
13 (Ghida Daza, 2016). De las gramíneas de invierno el trigo es el principal cultivo sembrado
14 a nivel nacional, con aproximadamente unas 5.341.000 de ha. en la campaña 2014/15, de
15 las cuales un 95,6 % se ha cosechado, con una producción total de 14,143 millones de
16 toneladas dando un rendimiento promedio cercano a los 3.000 kg/ha (SIIA, 2016).

17 En la actualidad la agricultura se ha tornado cada vez más especializada y
18 homogénea, con grandes superficies bajo siembra directa continua y alta presión del
19 cultivo más rentable: soja (Andriulo *et al.*, 2004). Este cultivo representa aproximadamente
20 el 50% del área sembrada de nuestro país, como así también aporta un volumen cercano
21 al 50% de la producción agrícola de la Argentina, planteando la dificultad para la
22 realización de rotaciones, o secuencias de cultivos, que permita no sólo considerar la
23 rentabilidad en el corto plazo, sino tener en cuenta la posible rentabilidad a un plazo
24 mayor de tiempo (Carta & Ventimiglia, 2005).

1 Entre las principales complicaciones vinculadas con el proceso de agriculturización
2 se mencionan los serios problemas de erosión y pérdida de fertilidad (Pengue, 2001). La
3 relación de superficie entre soja y gramíneas está ampliamente desplazada hacia la
4 leguminosa, que aporta poco rastrojo y de estrecha relación C/N. Según Martínez (2010),
5 esta situación deteriorará los suelos más rápido que hasta el presente, aunque se utilice
6 siembra directa, ya que la soja es el grano con mayor nivel de exportación de nutrientes
7 por tonelada producida, y como se la fertiliza muy poco, la descapitalización nutricional
8 continuará siendo enorme.

9 Si bien la difusión creciente de la fertilización ha atenuado, en parte, los procesos
10 de degradación, ésta no se realiza con el criterio de fertilización integral y balance de
11 nutrientes. Generalmente, el manejo de la nutrición de los cultivos extensivos se evalúa
12 considerando solamente el cultivo inmediato sin tener en cuenta los siguientes en la
13 rotación (Golik *et al*, 2014) y, además, de manera insuficiente, se estima que sólo se
14 repone aproximadamente la tercera parte del total de los nutrientes extraídos por los
15 granos (Casas, 2011). Asimismo, sólo se reponen algunos nutrientes (nitrógeno, fósforo, y
16 en menor medida azufre), mientras que la gran mayoría de los nutrientes son extraídos
17 por los cultivos sin reposición (Cruzarte & Casas, 2003, 2012)

18 Una apropiada rotación de cultivos en siembra directa continua, la reposición de
19 los nutrientes extraídos con las cosechas y una fertilización balanceada son elementos
20 que se vienen mencionando desde hace décadas como prioritarios para una producción
21 agropecuaria eficiente y sustentable en el tiempo. Sin embargo, la realidad muestra que la
22 agricultura se viene efectuando de una forma que se puede considerar como: "de
23 extracción minera", sin reponer lo que las producciones de granos extraen
24 periódicamente, o haciéndolo sin tener en cuenta el denominado "balance de nutrientes
25 del suelo" (Fontanetto & Gambaudo, 2010).

1 **Beneficios de las rotaciones**

2 Las rotaciones de diferentes cultivos es una práctica comprobada para mantener la
3 diversificación del sistema y mejorar el aprovechamiento de los recursos suelo y agua, las
4 propiedades físicas y químicas del mismo, así como el balance hídrico para los cultivos.
5 Además, permite cortar el ciclo de malezas, plagas y enfermedades, disminuir los riesgos
6 climáticos y de mercado, distribuir equilibradamente ingresos y egresos de la empresa,
7 efficientizar la utilización de los recursos humanos y mejorar el aprovechamiento de
8 maquinaria e instalaciones. (Forjan & Manso, 2006).

9 Las rotaciones de cultivos correctamente realizadas incrementan los rendimientos,
10 adicionan materia orgánica al suelo y mejoran su fertilidad. Los cultivos difieren por la
11 cantidad y calidad de los residuos que producen y, por lo tanto, por sus efectos sobre las
12 propiedades del suelo (Calegari & Peñalva, 1999).

13 Desde el punto de vista de la fertilidad química de los suelos, las rotaciones, en
14 comparación con el monocultivo, hacen un uso balanceado de nutrientes evitando
15 desequilibrios químicos de importancia. Si ello se complementa con una fertilización que
16 contemple las diferentes necesidades de cada cultivo, habrá respuestas económicas
17 favorables y se mantendrá el potencial productivo de los suelos (Lorenzatti, 2003).

18 La materia orgánica, es un componente fundamental en la fertilidad edáfica
19 influyendo en la fertilidad física, química y biológica (Studdert & Echeverría, 2000)

20 Forjan & Manso (2010) sostienen que el aporte de residuos vegetales es uno de
21 los factores más importantes que influyen sobre el balance de la materia orgánica del
22 suelo. La alta relación C/N de los rastrojos de cereales de invierno y verano, determina
23 una descomposición lenta y favorece la formación de materia orgánica estabilizada del
24 suelo. Contrariamente en las oleaginosas (soja y girasol) el elevado contenido de N y
25 carbohidratos solubles de sus residuos, aceleran la tasa de descomposición, por lo que

1 resulta relativamente bajo su aporte de carbono al sistema descomponiéndose
2 rápidamente y suministrando nutrientes durante los primeros estadios del cultivo
3 siguiente. Por esto resulta necesario mantener una fuerte presencia de trigo y otras
4 gramíneas de invierno en las secuencias de cultivos, más aún en aquellos ambientes que
5 son limitantes para la producción de maíz o sorgo y en la que los cereales de invierno
6 pasan a ser los eslabones que sostienen el sistema de producción, promoviendo el
7 mantenimiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, permitiendo obtener una
8 productividad estable en el tiempo (Forjan & Manso, 2010).

9 La mayor resistencia a la descomposición de los rastrojos de trigo junto a una muy
10 buena respuesta económica a la fertilización hace que su participación dentro de las
11 rotaciones aporte tanto al balance de carbono como al de nitrógeno (Cappi & Colombo,
12 2010). Según surge de los ensayos de larga duración llevados adelante en la Chacra
13 Experimental Integrada Barrow, el cultivo de trigo con un plan de fertilización habitual en
14 la zona, de 80 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico y 120 – 130 kg.ha⁻¹ de urea, puede satisfacer
15 su requerimiento tanto de fósforo como de nitrógeno para los rendimientos zonales,
16 generando a la vez un balance de carbono positivo que aporta estabilidad al sistema
17 (Forján & Manso, 2016).

18 Las rotaciones también influyen en las condiciones físicas y bioquímicas del suelo.
19 En el aspecto físico, los distintos sistemas radicales de los cultivos exploran diferentes
20 estratos del perfil, permitiendo una colonización del suelo con raíces de diferente
21 arquitectura. Debido a esto, cada tipo de raíz genera una clase determinada de poros, los
22 cuales según su tamaño tendrán funciones de aireación, ingreso del agua al perfil,
23 almacenamiento, o funciones mixtas. Al descomponerse las raíces por actividad de los
24 microorganismos quedan formados poros, los cuales presentan alta estabilidad y
25 continuidad espacial, favoreciendo una buena dinámica de aire y agua (Lorenzatti, 2003).

1 El crecimiento de raíces de gramíneas de invierno contribuye a regenerar la
2 estructura del suelo. Su raíz en “cabellera” fundamentalmente en los primeros 40-60 cm
3 de profundidad y su distribución uniforme en el perfil del suelo generan grietas y canales
4 que incrementan la velocidad de infiltración de agua y facilitan el desarrollo de las raíces
5 de otros cultivos, mejorando la porosidad superficial del suelo (Forjan & Manso 2010). Las
6 gramíneas de verano presentan un sistema radical muy desarrollado y profundo que
7 contribuye a mejorar la estructura del suelo, mejorando las condiciones químicas, físicas y
8 biológicas (Carrasco *et. al.*, 2011)

9 A la hora de analizar qué cultivos sembrar intervienen muchos factores tales como
10 rendimientos y su estabilidad, costos de producción, precios de los granos, políticas
11 vinculadas al sector agrícola, etc. Pero resulta necesario que el análisis sea más amplio y
12 se tengan en cuenta los beneficios que tienen las rotaciones de cultivos.

13 A lo anterior debe agregarse que si los cultivos se realizan bajo siembra directa
14 con cobertura se logra un mayor control de la erosión y disminuye la formación de costras
15 superficiales (Bragachini *et al.*, 2015). Los sistemas conservacionistas con una baja
16 remoción de suelo, determinan una menor mineralización de la materia orgánica, una
17 mayor captación de agua de lluvia y una reducción en las pérdidas por
18 evapotranspiración, incrementándose las posibilidades de obtener mayores respuestas a
19 la fertilización (Maddonni *et. al.*, 2003).

20 **Manejo de los nutrientes**

21 Resulta fundamental establecer una adecuada programación de la fertilización
22 insertándola en forma eficiente en la rotación y adecuando las dosis a los niveles de
23 extracción producidos, especialmente en los nutrientes con mayor respuesta económica.
24 Para ello el conocimiento de los balances de macronutrientes en los principales cultivos

1 es una herramienta de gran utilidad para diagramar estrategias de fertilización (Forjan,
2 2003). También resulta necesario considerar el cultivo antecesor ya que puede determinar
3 cambios en la dinámica del nutriente (inmovilización microbiana) modificando las
4 respuestas a la fertilización (Maddonni *et. al.*, 2003).

5 La diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran al sistema vía fertilizantes,
6 abonos orgánicos, fijación biológica de N₂ del aire y los nutrientes que salen, en este caso
7 con los granos nos da el denominado balance de nutrientes. El aporte de nutrientes de los
8 residuos de cultivos, se considera un reciclaje de nutrientes dentro del mismo sistema
9 suelo y por lo tanto no se incluye entre los ingresos (García, 2005). La situación ideal,
10 partiendo de un suelo saludable, es un balance cercano a 0. Si el balance fuese negativo
11 resultaría en la degradación del suelo por una disminución de la fertilidad química
12 asociada a la menor dotación de nutrientes (Chamorro *et.al*, 2016). En la región triguera
13 argentina, los nutrientes generalmente deficientes son el N y el P. En los últimos años, el
14 S se ha revelado como deficiente, especialmente en la zona norte de la región pampeana.
15 Para hacer un diagnóstico de la fertilización nitrogenada, hay que tener en cuenta la
16 disponibilidad de nitrógeno a la siembra (N-nitratos, 0-60 cm + N fertilizante) y el
17 rendimiento objetivo. Por ser un nutriente móvil en el suelo es necesario evitar pérdidas
18 por lixiviación que puedan contaminar napas freáticas o aguas superficiales, por lo tanto,
19 la fertilización debería asegurar la reposición de nutrientes que extrae el cultivo. Para el
20 caso del fósforo cabe la posibilidad de manejar la “fertilización de la rotación o del suelo” y
21 no solamente la “fertilización del cultivo”. Dependiendo de la disponibilidad inicial de
22 fósforo en el suelo pueden realizarse fertilizaciones que aseguren la reposición de este
23 nutriente en caso de ser un suelo bien provisto, y en casos en que se encuentre en

1 estados deficitarios podría pensarse en una fertilización de reposición y enriquecimiento
2 (García, 2005; Torres Duggan, 2014).

3 **Los sistemas productivos del área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias** 4 **y Forestales de la UNLP**

5 El área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, de la UNLP
6 es amplia, abarcando varios partidos, principalmente el Partido de Magdalena. En la
7 Estación Experimental Julio Hirschhorn, dependiente de la facultad, localizada en Los
8 Hornos, se han iniciado ensayos con el objetivo de evaluar diferentes secuencias
9 agrícolas, aumentando la diversidad de cultivos intervinientes y con esto atenuar la
10 degradación y agotamiento de los suelos.

11 Trabajos recientes indican que alrededor del 40% de los suelos de Magdalena son
12 aptos o moderadamente aptos para el cultivo de soja (Etchegoyen, 2011), superficie
13 equivalente a unas 73.000 has, lo cual da una idea de las posibilidades de crecimiento
14 para el cultivo en el Partido. Esto hace necesario la generación de información local, con
15 el fin de evitar o minimizar los problemas ambientales y sociales relacionados al
16 monocultivo de soja.

17 A su vez, en Magdalena, existen distintos tipos de productores en relación al
18 manejo tecnológico de los cultivos. Debido a que la forma de producir afecta no sólo el
19 rendimiento de los cultivos sino también al ambiente, es necesario que sea considerada
20 como una fuente más de variación. En el partido, se han distinguido productores que
21 habitualmente obtienen rendimientos mayores al promedio, lo que se relaciona con que
22 generalmente fertilizan con mayores dosis y con distintos nutrientes, aplican fungicidas
23 cuando es necesario, implementan el monitoreo de plagas y hacen los tratamientos en los
24 momentos oportunos.

1 Se plantean como hipótesis:

- 2 ✓ Las secuencias que incluyen a la soja con mayor frecuencia preservan menos el
3 reservorio de nutrientes del suelo, en consecuencia, la producción de trigo como
4 último componente de las mismas es menor que en aquellas que tienen menor
5 presencia de soja.
- 6 ✓ Los balances de nutrientes en secuencias que tienen mayor presencia de soja son
7 más negativos debido a que es un cultivo que se fertiliza muy poco.
- 8 ✓ El manejo de los cultivos bajo un nivel tecnológico más alto, que incluye una mayor
9 reposición de nutrientes, reduce el impacto de la alta frecuencia de soja dentro de
10 la secuencia agrícola mejorando los balances de nutrientes y la producción del
11 trigo como componente final de la misma.

12 Los objetivos son:

- 13 • Objetivo general:
 - 14 ✓ Evaluar el efecto de distintas secuencias agrícolas sobre el suelo a través
15 del comportamiento del cultivo de trigo como último componente de las
16 mismas.
- 17 • Objetivos particulares:
 - 18 ✓ Evaluar la producción de biomasa y el rendimiento del trigo como
19 componente de distintas secuencias de cultivos bajo dos manejos
20 tecnológicos.
 - 21 ✓ Evaluar la extracción de nutrientes y el balance de N y P para el cultivo de
22 trigo.
 - 23 ✓ Evaluar la extracción de nutrientes y balance de N y P de cada secuencia
24 completa.

1 **MATERIALES Y MÉTODOS**

2 En la Estación Experimental J. Hirschhorn dependiente de la Facultad de Ciencias
3 Agrarias y Forestales (UNLP), sobre un suelo *Argiudol típico*, similar a los de buena parte
4 de los suelos agrícolas de Magdalena, se iniciaron en el año 2011, ensayos a campo en
5 los que se comparan distintas secuencias agrícolas:

6 S1: trigo/soja 2º-maíz-soja-trigo

7 S2: cebada/soja 2º-maíz-soja-trigo

8 S3: avena/soja 2º-maíz-girasol-trigo

9 S4: colza/soja 2º-maíz-sorgo-trigo

10 Estas secuencias se manejaron bajo dos formas de producción, un nivel
11 tecnológico medio (NTM), considerado como el que realiza el productor promedio de la
12 zona, y un nivel tecnológico alto (NTA), que es aquel que utilizan los productores que
13 habitualmente obtienen mayores rendimientos en sus cosechas. Ambos manejos fueron
14 conocidos a través de entrevistas a técnicos y productores locales.

15 Los tratamientos de secuencias de cultivos y de manejo tecnológico se
16 combinaron factorialmente y se implantaron según un diseño experimental en bloques al
17 azar con cuatro repeticiones y en parcelas divididas, correspondiendo la parcela principal
18 a la secuencia de cultivos y la subparcela al manejo tecnológico. La superficie de cada
19 parcela fue de 22 m².

20 Para el cálculo de extracciones de nutrientes se requieren los rendimientos de los
21 cultivos anteriores al trigo, datos que han sido obtenidos de trabajos de otros
22 investigadores, pasantes, becarios y tesistas.

23 En base a la búsqueda bibliográfica de trabajos referidos a la extracción de
24 nutrientes en granos (García & Correndo, 2013; Cruzate & Casas, 2009; Ciampitti &
25 García, 2009) se calcularon la cantidades promedios de nutrientes (N, P, K y S)

1 exportados por los cultivos en forma individual y en sus respectivas secuencias a partir de
2 sus rendimientos. En la tabla 1 se presentan las extracciones de nutrientes de cada
3 cultivo (kg.tn^{-1}).

4 Las entradas de nutrientes son las correspondientes a los fertilizantes y a la
5 fijación biológica de N en la soja. Se calculo el balance de N y P a partir de las dosis de
6 fertilizantes empleados para el cultivo de trigo y para cada secuencia con el propósito de
7 establecer el nivel de reposición que se alcanzó en cada secuencia. Para la soja se
8 considera una fijación biológica de N estimada en 40 % (González, 2002). En la tabla 2 se
9 presentan detalladamente los fertilizantes y dosis utilizadas para cada cultivo.

10 Los datos obtenidos se procesaron por el análisis de la varianza y se usó la prueba
11 de Tukey para la comparación de medias ($P < 0,05$). Se utilizó el programa estadístico
12 InfoStat.

13 **Manejo del cultivo de trigo**

14 La siembra se realizó bajo la modalidad de siembra directa el 5/7/2014, en surcos
15 separados a 17,5 cm, con una densidad de 300 plantas. m^{-2} . Todas las parcelas y
16 subparcelas fueron fertilizadas a la siembra con 50 kg.ha^{-1} de fosfato diamónico. Luego al
17 estado de macollaje, en la fecha 22/8/2014 se realizó una fertilización con urea a razón de
18 100 kg.ha^{-1} para el NTM y 140 kg.ha^{-1} para el NTA. La variedad de trigo utilizada fue Buck
19 Meteoro.

20 No se hizo aplicación de fungicidas porque no se dieron las condiciones
21 predisponentes y por lo tanto no se alcanzaron los umbrales necesarios para realizar un
22 tratamiento. Tampoco se efectuaron aplicaciones para el control de plagas y malezas ya
23 que no fue necesario.

24 La cosecha se realizó el 2/12/2014, se cortaron las plantas al ras del suelo en tres
25 fracciones de 1 m lineal de surco en cada subparcela ($0,60 \text{ m}^2$). Se determinó la biomasa

1 aérea y para el rendimiento y sus componentes se contó el número de macollos, se
2 determinó espigas.m⁻², número de granos.m⁻², luego se pesaron los granos de 30 espigas
3 y se obtuvo el peso de mil granos (PMG) contando y pesando 500 granos.

4 En el anexo 2 se expone detalladamente el manejo de los cultivos anteriores al
5 trigo.

6

7 **RESULTADOS**

8 **Caracterización climática y desarrollo del cultivo de trigo**

9 En la Figura 1 pueden observarse las temperaturas medias y precipitaciones
10 mensuales para el año 2014 en contraste con los registros históricos para la Estación
11 Experimental J. Hirschhorn.

12 En general, el año presentó precipitaciones superiores al promedio histórico, por lo
13 que no hubo problemas de estrés hídrico en ningún momento y sobre todo en el periodo
14 crítico del cultivo (mes de octubre), aunque en la implantación se produjeron situaciones
15 de encharcamiento (mes de julio) que afectaron el stand de plantas lo que quedó de
16 manifiesto en el bajo número de macollos.m⁻² y de granos.m⁻² logrados en la madurez del
17 cultivo. Las temperaturas fueron superiores a los promedios históricos, afectando, en
18 cierto grado, el desarrollo de las fases del ciclo del cultivo y por lo tanto a los
19 componentes del rendimiento: número y peso de los granos.

20 En la Tabla 3 se exponen los estados fenológicos del trigo durante la campaña
21 2014 según la escala de Zadoks *et al.* (1974) y en la tabla 4 el número de macollos.m⁻²,
22 rendimiento y componentes del rendimiento para trigo, bajo distintas secuencias de cultivo
23 y niveles de tecnología.

24

1 **Rendimiento, extracción de nutrientes y balance de nitrógeno y fósforo para el**
2 **cultivo de Trigo**

3 En el rendimiento de trigo se encontraron diferencias significativas según la
4 secuencia, siendo bajo la secuencia S2 (con antecesor soja) en donde se produjo el
5 mayor rendimiento de trigo, siguiendo la secuencia S1(con antecesor soja), en tercer
6 lugar, la secuencia S3 (con antecesor girasol) y por último la secuencia S4 (con antecesor
7 sorgo) (Figura 2).

8 El nutriente de mayor extracción fue el nitrógeno (N), seguido de fosforo (P) y
9 potasio (K) y por último el azufre (S). Las mayores extracciones de estos cuatro nutrientes
10 se dieron bajo la S2 cuando el antecesor inmediato fue la soja, seguido por S1 con soja
11 como antecesor inmediato, luego la S3 con antecesor girasol y por último la S4 con
12 antecesor sorgo (Figuras 3 y 4).

13 Tanto para el rendimiento y las extracciones no se encontraron diferencias
14 significativas según el nivel tecnológico (Figuras 5 y 6).

15 La interacción Secuencia x Nivel tecnológico no fue significativa, ni para el
16 rendimiento ni para las extracciones y balances de nutrientes.

17 Para el balance de nitrógeno en el cultivo de trigo hubo diferencias significativas
18 según la secuencia. El balance más negativo fue para la S2 seguido de la S1, S3 y S4,
19 dando esta última secuencia un valor positivo (Figura 7). También se encontraron
20 diferencias significativas según el nivel tecnológico empleado, siendo el NTM el menos
21 favorable para el suelo con un balance negativo. Para el NTA el balance fue positivo
22 cercano a cero (Figura 8).

23 En cuanto al balance de fósforo también se encontraron diferencias significativas
24 según la secuencia. El balance fue negativo en las cuatro secuencias, siendo el más

1 negativo en la S2 y luego S1, seguido de S3 y S4 (Figura 7). En este caso no hubo
2 diferencias significativas en el nivel tecnológico empleado (Figura 8).

3

4 **Rendimiento, extracción de nutrientes y balance de nitrógeno y fósforo para las** 5 **secuencias completas.**

6 El rendimiento total en grano en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ fue superior en la S2, que se diferenci
7 significativamente de las restantes secuencias. En orden decreciente de rendimiento le
8 siguió la S1, S4 y por último la S3. En la Figura 9 pueden observarse los rendimientos
9 totales de cada secuencia y a su vez el aporte de cada cultivo. En las cuatro secuencias
10 el mayor aporte estuvo dado por el cultivo de maíz. En S1 se destacó el aporte que realizó
11 el trigo en el primer año y la soja de primera. En S2 el aporte de la cebada y la soja de
12 primera hicieron que esta secuencia fuera la de mayor rendimiento. En la S3 el bajo
13 aporte en grano del cultivo de girasol, al igual que el de la colza en la S4, hicieron que
14 estas secuencias fueran las de menores rendimientos.

15 En las cuatro secuencias los mayores niveles de extracción se dieron para el
16 nitrógeno seguido del potasio, fósforo y azufre. Se encontraron diferencias significativas
17 para la extracción de nitrógeno entre las secuencias. La S3 fue la que arrojó el menor
18 valor, seguida en orden creciente por la S4, S1 y S2 (Figura 10).

19 Las extracciones de fósforo, potasio y azufre mostraron diferencias significativas
20 para las secuencias. Las mayores extracciones de fósforo y azufre se dieron en la S4
21 seguida de la S2, S1 y S3. Si bien la S4 mostró los menores rendimientos en grano, los
22 altos requerimientos de estos nutrientes que tiene el cultivo de colza, hicieron que sea la
23 secuencia más extractiva. Para el caso del K las mayores extracciones se dieron en la S2,
24 básicamente por los altos requerimientos que tiene el cultivo de soja. Le siguió la S4 por
25 los altos requerimientos de la colza, luego la S1 y por último la S3 (Figura 11).

1 El rendimiento en grano según los niveles tecnológicos arrojó diferencias
2 significativas, siendo el NTA el de mayor rendimiento con una diferencia de 1864,18
3 kg.ha⁻¹ (Figura 12).

4 Para los cuatro nutrientes las mayores extracciones se dieron en los NTA, pero
5 sólo se encontraron diferencias significativas en las extracciones de nitrógeno y fósforo
6 (Figura 13).

7 No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento, extracciones de
8 nutrientes y balance de nitrógeno para la interacción secuencia*nivel tecnológico.

9 Para el balance de nitrógeno se encontraron diferencias significativas según las
10 secuencias. En las cuatro secuencias los balances fueron negativos. La S2 que fue la de
11 mayor rendimiento y extracción en este nutriente y fue la que dejó el balance más
12 negativo de nitrógeno. Luego siguió la S1, S4 y por último la S3 (Figura 14).

13 Para el balance de fósforo (Figuras 14 y 15) se encontró interacción significativa
14 entre la secuencia y nivel tecnológico empleado. El efecto del nivel tecnológico sobre el
15 balance de fósforo no fue el mismo para las distintas secuencias. Se observó que en la S2
16 el balance fue similar para ambas tecnologías (-82 kg.ha⁻¹ de P). Para la S1 el NTA arrojó
17 un balance más negativo que el NTM. Caso contrario, en las S3 y S4 los NTA dieron
18 balances menos negativos que los NTM.

19 Según los niveles tecnológicos el balance menos negativo se dio cuando el
20 tratamiento fue NTA, esto se debe a los mayores aportes de nutrientes que se hicieron
21 con los fertilizantes (Figura 16). Se encontraron diferencias significativas para el balance
22 de nitrógeno, no así para el balance de fósforo.

23
24
25

1 DISCUSIÓN

2 El cultivo de trigo como último componente de las secuencias

3 Los rendimientos del trigo como último componente de las secuencias superaron
4 en todos los casos el rendimiento promedio de la provincia de Buenos Aires, que fue
5 cerca de 3100 kg.ha⁻¹ para la campaña 2014/15 (SIIA, 2016). Sin embargo, se esperaban
6 mejores rendimientos, si no hubieran existido los problemas de encharcamiento que
7 redujeron el stand de plantas lo que hizo que no se logre obtener las 400 – 500
8 espigas.m⁻² a cosecha consideradas como óptimas. Las S1 y S2, que tuvieron de
9 antecesores inmediatos al cultivo de soja, además de ser las secuencias que la incluyeron
10 con mayor frecuencia, tuvieron los mayores rendimientos de trigo, contrariamente a lo que
11 se esperaba, con una diferencia de 170 kg.ha⁻¹ a favor de la S2. En la S3 donde el
12 antecesor fue girasol la diferencia fue de 238 kg.ha⁻¹ y en la S4, donde fue sorgo, se
13 encontró una diferencia de 943 kg.ha⁻¹ en ambos casos a favor de la S2.

14 Resaltando que fue una campaña donde no existieron problemas de deficiencias
15 hídricas para el cultivo de trigo, estas diferencias en el rendimiento pueden explicarse por
16 la baja cantidad y la baja relación C/N de los rastrojos de soja, que hicieron que su
17 descomposición sea rápida, aumentando así la disponibilidad de nitrógeno para el
18 desarrollo del cultivo de trigo. Esta alta disponibilidad pudo influir en que las diferencias
19 entre niveles tecnológicos no sean significativas. Fontanetto *et al.* (2005) encontraron
20 resultados similares, los rendimientos de trigo fueron superiores cuando el antecesor fue
21 soja y las fertilizaciones con N fueron nulas o fluctuaron entre 50 y 100 kg de N.ha⁻¹,
22 comparado con otros antecesores. Queda de manifiesto que es necesario ajustar las
23 dosis de fertilizantes para el trigo según cuál sea el cultivo antecesor y según los
24 rendimientos esperados. La historia agrícola del lote es otro factor a considerar, en
25 general con períodos largos de agricultura las respuestas a la fertilización con nitrógeno

1 son mayores (Forján & Manso, 2016).

2 Las extracciones de nutrientes dependen del tipo de cultivo y su rendimiento, es
3 lógico entonces que el mayor rendimiento del trigo obtenido en la S2 haya causado las
4 extracciones más altas de nutrientes y, de la misma manera, los rendimientos más bajos
5 de la S4, las menores.

6 Los balances de nitrógeno para el cultivo de trigo de las S1, S2 y S3 fueron
7 negativos, indicando que el nivel de reposición de este nutriente a partir de los fertilizantes
8 fue insuficiente para cubrir las extracciones. Con esos niveles de fertilización se garantizó
9 una reposición que fluctuó entre 75 – 85 %. Sólo en la S4, la de menor rendimiento, se
10 logró un balance positivo cercano a cero, alcanzándose la condición ideal. En toda la
11 región pampeana, se mencionó a la pérdida de nitrógeno edáfico como una de las causas
12 del deterioro del suelo y se señaló a la remoción de los cultivos como principal causa
13 (Gudelj *et al.*, 2006). El NTA no garantizó un mayor rendimiento de trigo, pero sí aseguró
14 un mayor nivel de reposición de este nutriente.

15 El balance de fósforo fue deficitario en las cuatro secuencias. En este caso los
16 niveles tecnológicos empleados no se diferenciaron en los aportes de fertilizantes,
17 pudiendo ser el fósforo el nutriente que limitó el rendimiento del trigo. García & González
18 San Juan (2013) señalan que en el período 2003-2011 la relación aplicación/remoción
19 para trigo aumentó por arriba de 1 indicando balances positivos para este nutriente, en
20 contraposición a los resultados obtenidos. Obviamente en estas estimaciones se indica al
21 fósforo como aplicado al trigo, pero probablemente haya sido destinado a la soja de
22 segunda.

23 Si bien los rendimientos fueron superiores a la media del país y la provincia, se
24 esperaban mejores resultados. Esto hubiera acentuado las deficiencias en los balances
25 de nutrientes, ya que ninguno de los dos niveles tecnológicos empleados garantizó la

1 reposición de estos elementos.

2 En la Chacra Experimental Barrow en ensayos de larga duración, lograron
3 balances positivos para ambos nutrientes para el cultivo de trigo utilizando dosis de
4 fertilizantes de uso actual, es decir la que usan los productores de la zona (Forján *et al.*,
5 2011). Hay que considerar que las fertilizaciones que utilizan, para el caso del fosfato
6 diamónico, son el doble de las usadas en este trabajo ya que es una zona que presenta
7 un nivel medio de disponibilidad de fósforo y, para el caso de la urea, la aplicación se
8 asemeja al NTA. Manchado (2010) resalta que en el área de influencia del Centro
9 Regional Buenos Aires Sur (CERBAS) del INTA el cultivo de trigo arroja superávit en los
10 balances sólo para los nutrientes N y P.

11 Por otro lado, hay que destacar el aporte que hace esta gramínea al sistema de
12 producción con sus rastrojos, ya que su alta relación C/N hace que su descomposición
13 sea lenta y favorece la formación de materia orgánica estabilizada. La fertilización
14 nitrogenada juega un papel clave porque permite aumentar el rendimiento y la biomasa
15 del cultivo por lo que se logra obtener mayor cantidad de rastrojos. En este sentido la S2,
16 de mayor rendimiento, fue la contribuyó con el mayor aporte de rastrojos.

17 Se ha indicado que el cultivo de trigo es una alternativa para mejorar la nutrición
18 en la rotación de los cultivos, mejorando los balances de nutrientes (reposición), mejorar
19 el balance de carbono del suelo y potenciar el reciclado de nutrientes en formas orgánicas
20 (García & Diaz-Zorita, 2006), sobre todo en los sistemas con alta frecuencia de soja en la
21 rotación (Cordone y Martínez, 2004), sin embargo, los resultados obtenidos indican que
22 esto dependería de los niveles de rendimiento obtenidos en relación al planteo de
23 fertilización aplicado.

24 En este caso, al no haberse realizado un análisis de suelo y un diagnóstico preciso
25 de la fertilidad del mismo según el rendimiento esperado, se observa que los balances

1 fueron negativos, pero ajustando todas las variables y realizando las rotaciones con la
2 adecuada elección de cultivos y un manejo racional del suelo, se podría incrementar la
3 fertilidad del mismo e incluso lograr balances de nutrientes favorables.

4

5 **Secuencias de cultivos**

6 En general los rendimientos obtenidos en todos los cultivos participantes de las
7 secuencias fueron superiores a las medias nacionales.

8 La campaña 2011/12 se caracterizó por un invierno húmedo en junio y julio con
9 precipitaciones superiores al promedio histórico, con deficiencias hídricas durante los
10 meses de primavera e inicios del verano, en febrero ocurrió una recuperación en las
11 precipitaciones por encima de la media histórica y en los meses posteriores se dio una
12 reducción nuevamente de las precipitaciones. La marcha térmica fue similar a las
13 condiciones históricas (Chamorro *et al.*, 2014). El escenario descrito determinó una
14 elevada producción de los cultivos invernales ya que, si bien recibieron pocas
15 precipitaciones en el período de floración o antesis, contaban con agua acumulada en el
16 perfil del suelo que cubrió sus necesidades, lo cual se reflejó en la producción obtenida
17 que, en promedio, rondó los 8462 kg.ha⁻¹ para trigo, 9026 kg.ha⁻¹ para cebada, 6557
18 kg.ha⁻¹ para avena y 3248 kg.ha⁻¹ para colza. Los distintos cultivos de invierno hicieron
19 que las cosechas sean en fechas diferentes de acuerdo al momento en que alcanzaron la
20 madurez. Primero se cosechó la colza, luego cebada, avena y por último trigo. Se
21 utilizaron diferentes grupos de madurez y ciclos para la soja de segunda, según las
22 recomendaciones habituales, que se sembraron en el orden en que se fueron cosechando
23 los antecesores.

24 La fecha de siembra influye sobre el establecimiento del cultivo, la determinación
25 del periodo crítico y determina una disminución de la radiación incidente a medida que se

1 atrasa la siembra, bajando así la eficiencia de conversión del cultivo y además, el
2 fotoperiodo corto produce una reducción del periodo de llenado de granos. Las plantas
3 provenientes de siembras más tempranas crecen aprovechando mejor el ambiente, sin
4 excesos de temperaturas que aceleran las etapas de desarrollo, permitiéndoles capturar
5 más recursos (radiación, agua, nitrógeno) y alcanzar mayor producción acorde a su
6 potencial genético (Andrade & Cirilo, 2000), por lo tanto, los mayores rendimientos de la
7 soja de segunda se dieron cuando el antecesor fue colza seguido de cebada, avena y
8 trigo. Al usar las variedades de soja adaptadas a tales fechas de siembra se logró
9 anticipar el período de llenado de las semillas ubicándolos en febrero, en mejores
10 condiciones de oferta ambiental. Esto determinó la fijación de un número mayor de
11 semillas acompañado de un alto peso individual.

12 En la campaña 2012/13 se encontró una diferencia de rendimiento en maíz de
13 alrededor de $1200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ entre la secuencia de mayor (S2) y menor (S4) rendimiento, es
14 decir, una tendencia positiva de la secuencia cebada/soja-maíz a incrementar la
15 producción de granos. Quedando la S3 en segundo lugar y tercera la S1.

16 Este aumento de rendimiento en maíz en favor de la S2 puede explicarse por la
17 mayor cobertura de los dos cultivos de la secuencia cebada/soja 2°, que habría
18 conservado mejor la humedad, y que, además, provocó un mayor aporte de nutrientes
19 con su posterior descomposición. La lenta degradación de los rastrojos de las gramíneas
20 de invierno favorece la cobertura del suelo mejorando la eficiencia de uso del agua. Por el
21 contrario, la S4 que incluyó la colza/soja 2° presentaría una descomposición más rápida.
22 Pellegrini *et al.* (2014) sobre el mismo ensayo, antes de la siembra de maíz, determinaron
23 que las secuencias de cultivos (cultivo de invierno/soja 2°) no variaron significativamente
24 en el volumen de rastrojos aportados. Pero sí encontró diferencias estadísticas en el
25 carbono orgánico particulado (que corresponde a la fracción más lábil de la materia

1 orgánica) donde la S3 y S2 dieron los mayores resultados, 1,29 g.kg⁻¹ y 1,17 g.kg⁻¹
2 respectivamente, coincidiendo esto con los mayores rendimientos de maíz. Los valores
3 menores se encontraron en la S1 (1,11 g.kg⁻¹) y S4 (1,0 g.kg⁻¹). Esto indicaría que la
4 calidad de los rastrojos más que la cantidad, es lo que pudo favorecer el desarrollo del
5 cultivo de maíz. Más aún, considerando que en las cuatro secuencias analizadas todas
6 las variables fueron las mismas: tiempo de barbecho, fecha de siembra, híbrido utilizado,
7 manejo tecnológico y condiciones de cultivo.

8 Es necesario resaltar las ventajas del maíz y los beneficios de su inclusión en la
9 rotación ya que es el cultivo de menor extracción de nutrientes y posibilita mejorar sus
10 balances. Además, hay que sumar su aporte por el alto volumen de rastrojo,
11 potencialmente utilizable como C orgánico y N en el suelo, factible de mineralizarse y de
12 aumentar la fertilidad potencial. Si bien un cultivo como el maíz puede ser
13 económicamente más costoso de producir, realiza un aporte al sistema de producción que
14 se verifica en el mediano y largo plazo a través de la conservación del recurso suelo
15 (Satorre, 2002).

16 En el tercer año de rotación, campaña 2013/14, el sorgo (S4) fue el cultivo de
17 mayor rendimiento comparado con los cultivos oleaginosos. Sobre el mismo ensayo
18 Novillo *et.al.* (2016) encontraron que fue el cultivo que aportó la mayor cantidad de
19 rastrojos al suelo. Los principales beneficios de la inclusión del sorgo en las rotaciones
20 agrícolas son resultantes de la alta cantidad de rastrojo que aporta y su lenta
21 descomposición (alta relación C/N). Esto le permite, por un lado, contribuir al contenido de
22 materia orgánica del suelo (Forján & Manso, 2010), por otro lado, evitar o disminuir los
23 procesos erosivos debido a la cobertura superficial que genera su rastrojo, mejorando la
24 infiltración del agua de lluvia y, además, disminuir las pérdidas de agua del suelo por
25 evaporación. También las características de su sistema radicular fibroso ayudan a

1 recuperar la estructura de los suelos.

2 Los cultivos de soja de primera (S1 y S2) han tenido un buen comportamiento
3 cuando el antecesor fue maíz. Bacigaluppo *et al.* (2009) encontraron una diferencia de un
4 10 % en el rendimiento a favor de soja cuando se realizó en rotaciones con gramíneas
5 versus su producción en monocultivo. Se destaca el aporte que ha realizado esta
6 oleaginosa en la S2 que fue la que arrojó el mayor rendimiento total en grano. El girasol
7 tuvo un buen comportamiento, pero el bajo volumen de grano que aportó hizo que la S3
8 fuese la de menor rendimiento. A su vez, también fue el cultivo que aportó el menor
9 volumen de rastrojo, quedando la soja en una posición intermedia. La baja relación C/N
10 de los rastrojos de soja hizo que se descompusieran rápidamente aumentando la
11 disponibilidad de nitrógeno para el desarrollo del cultivo siguiente, lo que favoreció al trigo
12 que siguió en la rotación. La relación C/N intermedia del girasol sumado al bajo aporte de
13 rastrojos que realizó pudo aumentar la disponibilidad de nitrógeno, pero en menor medida
14 que en las S1 y S2. Contrariamente la inmovilización microbiana de nitrógeno en la S4
15 producida por el alto aporte de rastrojos del sorgo y su alta relación C/N habría afectado la
16 disponibilidad de este nutriente para el cultivo sucesor.

17 El mayor aporte de nutrientes que produjo el NTA hizo que los rendimientos fueran
18 superiores con una diferencia de 1864 kg.ha⁻¹ de grano.

19 Las mayores extracciones de nutrientes se dieron en la S2 ya que fue la de mayor
20 rendimiento. Las oleaginosas fueron los cultivos que realizaron las mayores extracciones
21 de nutrientes por tonelada de grano, principalmente la soja y la colza.

22 Los balances de nitrógeno fueron deficitarios en las cuatro secuencias. Los
23 balances más negativos se dieron cuando el cultivo de soja se incluyó dos veces (S1 y
24 S2). La elevada demanda de nutrientes de este cultivo junto con altos rendimientos
25 obtenidos, sumado a que las fertilizaciones fueron bajas para ambos niveles de

1 tecnología, explican los resultados de los balances de estas secuencias. Además, hay
2 que tener en cuenta que para el cálculo de las extracciones de nitrógeno, en el caso de
3 esta oleaginosa, se consideró una fijación biológica del 40 %. Está generalizado el bajo
4 nivel de fertilización nitrogenada en soja para no interferir sobre la actividad fijadora que
5 presenta la misma (Salvagiotti *et al.*, 2008). Sin embargo, las S3 y S4, que sólo incluyeron
6 una vez a este cultivo, también arrojaron balances negativos, aunque de menor valor.
7 Esto concuerda con lo obtenido por Forjan *et al.* (2011) donde la soja fue el cultivo que
8 mayor desbalance de N produjo lo cual se explica por presentar un elevado porcentaje de
9 proteína en los granos y recibir un bajo aporte de fertilizante nitrogenado.

10 Para el balance de fósforo igual que para el caso anterior las cuatro secuencias
11 resultaron negativas. Además de las S1 y S2, que incluyen dos veces a la soja, la S4 con
12 el cultivo de colza dieron balances con diferencias no significativas. Si bien el rendimiento
13 de colza fue bueno, no es un cultivo que aporte mucho al rendimiento en grano de la
14 secuencia, pero hay que destacar que es un cultivo que requiere el doble de fósforo por
15 tonelada de grano que la soja, 1,5 veces más fósforo que el girasol y entre 3 y 4 veces
16 más que las gramíneas.

17 Para ambos niveles de tecnología el balance tanto de nitrógeno como de fósforo
18 fue negativo. El NTA aseguró un mayor nivel de reposición, sobre todo de nitrógeno.

19 Estos desbalances de nutrientes concuerdan con los hallados por Flores &
20 Sarandón (2002) durante la década del 90' para la región pampeana para los cultivos de
21 trigo, maíz y soja. Casas & Cruzarte (2012) a nivel nacional hallaron que el porcentaje de
22 reposición de nutrientes totales es de un 35% de lo extraído, con un 39% de reposición de
23 N, 64% de P, 6% de K, 54% de Ca y 52% de S. Fontanetto & Gambaudo (2010)
24 encontraron para la campaña 2003/4 en Santa Fe balances negativos para N, P, K y S.
25 Manchado (2010) resalta que todos los cultivos agrícolas arrojan balances deficitarios, a

1 excepción del trigo que arroja superávit sólo para los nutrientes N y P.

2 Es necesario recordar que los niveles de tecnología empleados en este trabajo son
3 los que realizan los productores tipo de la zona, los que al momento de tomar decisiones
4 de los cultivos a realizar y el manejo a llevar a cabo ponen en consideración aspectos
5 meramente económicos, realizando fertilizaciones en los cultivos con el objetivo de
6 obtener respuestas en el rendimiento y no en la reposición de los nutrientes extraídos con
7 las cosechas. Por estos motivos es difícil esperar encontrar balances nulos.

8 Hay que destacar que el análisis en este trabajo se redujo sólo a los balances de
9 nitrógeno y fósforo, ya que las fertilizaciones con potasio y azufre han sido insignificantes,
10 siendo estos últimos junto al resto de macro y micronutrientes exportados del suelo sin
11 ninguna reposición.

12 Lo que se intenta reflejar en este trabajo es el aporte que realizan las rotaciones
13 de cultivos al sistema de producción y, sobre todo, la inclusión de gramíneas tanto
14 invernales como de verano. Éstas tienen un importante impacto en el balance de carbono
15 del suelo, pilar fundamental de la fertilidad edáfica, que influye tanto en las propiedades
16 físicas, químicas y biológicas del suelo, garantizando así un sistema productivo estable en
17 el tiempo. Las rotaciones de cultivos, en conjunto con una fertilización balanceada
18 correctamente insertada en la secuencia, que sea acorde a las demanda de los cultivos y
19 a los niveles de extracción, permitirá lograr una agricultura eficiente y sustentable en el
20 tiempo sumado a otras buenas prácticas agrícolas no abordadas en este trabajo.

21

22 **CONCLUSIONES**

23 No sólo las secuencias que incluyeron al cultivo de soja con mayor frecuencia (S1
24 y S2) preservaron menos el reservorio de nutrientes del suelo, la S4 que incluyó colza
25 arrojó valores similares. Contrariamente a lo que se esperaba, el rendimiento de trigo fue

1 superior en las S1 y S2, que incluyeron dos veces el cultivo de soja. Lo planteado en la
2 primera hipótesis se podría ir registrando en la medida que se avance con el ensayo a
3 través de los años, aumentando así la historia agrícola de los lotes, donde la respuesta a
4 la fertilización por parte del cultivo de trigo sea más evidente.

5 Como se esperaba, los balances de nitrógeno fueron más negativos en las S1 y
6 S2 que incluyeron más veces al cultivo de soja, debido a que, si bien realiza un buen
7 aporte a través de su fijación biológica, su extracción a través de los granos es muy
8 elevada dado el alto índice de cosecha de nitrógeno. Sin embargo, para el balance de
9 fósforo no se dio lo que se esperaba ya que además de las S1 y S2, la S4 también dio
10 valores similares.

11 Como se planteó en la tercera hipótesis el NTA redujo el impacto de la mayor
12 presencia de soja para el caso del nitrógeno, no así para el fosforo, ya que las
13 fertilizaciones con este nutriente no se diferenciaron demasiado entre los niveles de
14 tecnología empleados.

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

1 **BIBLIOGRAFÍA**

2 **Altieri M.A & C.I. Nicholls.** 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una
3 agricultura sustentable. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe,
4 México. 250 Pp. Capítulo 1: Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. Pp:
5 13 – 43.

6 **Altieri M.A.** 1999. Agroecología, Bases científicas para una agricultura
7 sustentable. Ed. Nordan – Comunidad, Montevideo. 325 pp. Capítulo 3. Los
8 Agroecosistemas: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. Pp: 43 – 66.

9 **Andrade, F. & A. Cirilo.** 2000. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En:
10 Andrade, F. H. & Sadras, V. O.: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed.
11 Médica Panamericana S.A. EEA INTA Balcarce-Fac. de ciencias agrarias UNMP. pp. 135-
12 153.

13 **Andriulo A., C. Sasal & S. Portala.** 2004. Impacto ambiental de la agricultura
14 pampeana. Revista de investigación y desarrollo agropecuario. Cereales – India XXI
15 INTA, pp: 80.

16 **Asbornio M & H. Pardi.** 2014. Boletín Agrometeorológico EEJH. Facultad de
17 Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 12 pp.

18 **Bacigaluppo, S., M. Bodrero & F. Salvagiotti.** 2009. Producción de soja en
19 rotación vs. monocultivo en suelos con historia agrícola prolongada. Soja 2009. Para
20 mejorar la producción. EEA Oliveros – CR Santa Fe. Pp: 53-55.

21 **Barsky O. & M. Dávila.** 2008. La Rebelión del campo. Editorial Sudamericana.
22 Capítulo 1: La expansión del agro pampeano. Pp: 13 – 27.

23 **Bragachini, M., J.P. Vélez, C. Casini & F. Sánchez.** 2015. Siembra Directa. Un
24 aporte a la productividad y sustentabilidad ambiental. INTA Actualización Técnica N° 89.
25 Pp. 24.

1 **Calegari A. & M. Peñalva.** 1999. Rotación de cultivos y abonos verdes. Ed.
2 Uruguay. p.44-56.

3 **Cappi M. & F. Colombo.** 2010. La importancia del trigo en Argentina y su
4 decadencia actual. Disponible en: <http://agronegociosuba.blogspot.com.ar/2010/12/la->
5 [importancia-del-cultivo-de-trigo-en.html](http://agronegociosuba.blogspot.com.ar/2010/12/la-importancia-del-cultivo-de-trigo-en.html). Ultimo acceso: marzo 2016.

6 **Carrasco N., M. Zamora & A. Melín.** 2011. Manual de Sorgo. Ediciones INTA.
7 Pp. 112.

8 **Carta H., & L. Ventimiglia.** 2005. Pensando en la sustentabilidad del sistema
9 productivo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental
10 Agropecuaria Pergamino. Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa 9 de Julio.
11 Pp: 32 – 37.

12 **Casas, R.** 2011. Los suelos producen cinco veces más con rotación de cultivos.
13 Disponible en: <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=16124>. Ultimo acceso:
14 noviembre 2015.

15 **Chamorro A., R. Bezus, S. Golik, A. Pellegrini, E. Espósito, M. Notte, B.**
16 **Novillo & A. Voisin.** 2016. Balance de nutrientes en cultivos de verano. Actividades de
17 docencia, investigación y extensión 2014-2016. Estación Experimental Julio Hirschhorn,
18 Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

19 **Chamorro A.; R. Bezus; S. Golik & A. Pellegrini.** 2014. Evaluación de distintos
20 cultivos antecesores para la soja (*Glycine max* (L.) Merr.) de segunda en el noreste de la
21 Provincia de Buenos Aires. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 34(2): 132-135.

22 **Ciampitti I. & F. García.** 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y
23 extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Cereales, Oleaginosos e
24 Industriales. Archivo Agronómico Nro. 11 IPNI. Pp: 13 - 16

1 **Cordone G. & F. Martínez.** 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno.
2 Informaciones Agronómicas del Cono Sur No. 24: 1-4.

3 **Cruzate G. & R. Casas.** 2003. Balance de Nutrientes. Revista Fertilizar INTA Año
4 8 Número Especial “Sostenibilidad”. Pp 7-13.

5 **Cruzate G. & R. Casas.** 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos
6 agrícolas de la Argentina. Informaciones Agronómicas hispanoamerica 6: 21-26.

7 **Cruzate, G. & R. Casas.** 2009. Extracción de Nutrientes en la Agricultura
8 Argentina. Informaciones Agronómicas 44: 21-26.

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

12 **FAO.** 2009. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Foro de
13 expertos de alto nivel – Como alimentar al mundo en 2050. 4 pp.

14 **Flores C. & Sarandón S.** 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad
15 ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el
16 proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. Revista de la Facultad de
17 Agronomía, La Plata N° 105: 52-67.

18 **Fontanetto H. & S. Gambaudo.** 2010. El balance de nutrientes para sistemas
19 agropecuarios sustentables. Disponible en: [http://www.produccion-](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/77-nutrientes.pdf)
20 [animal.com.ar/suelos_ganaderos/77-nutrientes.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/77-nutrientes.pdf). Ultimo acceso: noviembre 2015.

21 **Fontanetto, H; H. Vivas; O. Keller; R. Albrecht; L. Gastaldi & H. Castignani.**
22 2005. Consideraciones sobre la fertilización nitrogenada de trigo en la región central de
23 Santa Fe.

24 **Forján H.** 2003. Producción de cultivos y extracción de nutrientes en la región sur
25 bonaerense. Disponible en: [29](http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/02/inta-</p></div><div data-bbox=)

1 [balcarce-produccion-de-cultivos-y-exportacion-de-nutrientes-en-la-region-sur-](#)
2 [bonaerense.pdf](#). Ultimo acceso: marzo 2016.

3 **Forján H.** 2004 Balance de nutrientes en secuencias agrícolas de la región sur
4 bonaerense: Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos 48: 6-10.

5 **Forján H.; M. Zamora; L. Manso; M. Seghezso & E. Molfese.** 2011. Inclusión de
6 soja en secuencias agrícolas del sur bonaerense: su efecto sobre el balance de nitrógeno
7 y fósforo. Chacra Experimental Integrada Barrow, Tres Arroyos (B.A.). Quinto congreso de
8 la soja del Mercosur. Primer foro de la soja Asia-Mercosur.

9 **Forján H. & L. Manso.** 2006. Una tecnología poco costosa: La rotación de
10 cultivos. AGROBARROW 19: 1-3. Disponible en:
11 <http://anterior.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrobarrow34/Una%20tecnologia%20po>
12 [co%20costosa.pdf](#). Ultimo acceso: noviembre 2015.

13 **Forján, H. & L. Manso.** 2010. Los cereales de invierno en la secuencia de cultivos.
14 Su aporte a la sustentabilidad del sistema de producción. Chacra Experimental Integrada
15 Barrow, Convenio INTA – MAA Pcia. de Buenos Aires. Pp. 2

16 **Forján, H. & L. Manso.** 2016. Rotaciones y secuencias de cultivos en la región
17 mixta cerealera del centro-sur bonaerense. 30 años de experiencia. Chacra experimental
18 integrada Barrow. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 86 pp.

19 **García F. & M. Díaz-Zorita.** 2006. Nutrición y fertilización: TRIGO. Balances,
20 Modelos de Diagnóstico y nuevos nutrientes. Presentado en Congreso “A Todo Trigo
21 2006”. Disponible en:
22 <http://portal.acabase.com.ar/suelofertil/Articulos%20de%20Inters/TRIGO/Trigo->
23 [%20Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20-%20Nuevos%20nutrientes.pdf](#).
24 Ultimo acceso: junio 2016.

1 **García F. & M. González San Juan.** 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el
2 balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica,
3 IPNI. Nro: 9:2-7.

4 **García, F. & A. Correndo.** 2013. Calculo de requerimientos nutricionales. IPINI
5 Programa Latinoamérica Cono Sur. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.
6 Ultimo acceso: enero 2016

7 **García, F.** 2005. Balance de nutrientes y necesidades de fertilización del cultivo de
8 trigo. Disponible en: <http://www.researchgate.net/publication/237735592>. Ultimo acceso:
9 enero 2016.

10 **Ghida Daza, C.** 2016. Resultados económicos esperados para la campaña de
11 trigo 2016/2017. INTA EEA Marcos Juárez. 7pp.

12 **Gliessman S.R.** 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura
13 sustentable. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 pp. Capítulo 2. El concepto de
14 agroecosistema. Pp: 17- 21.

15 **Golik, S., A. Chamorro, R. Bezus & A. Pellegrini.** 2014. Extracción y balance de
16 nutrientes para distintas secuencias de cultivo en el noreste de la Provincia de Buenos
17 Aires. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 34(2): 147-150.

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

21 **Gudelj, V.; C. Galarza; M. Ferrari; C. Senigagliesi; A. Berardo; N. Darwich & H.**
22 **Echeverria.** 2006. La fertilización en cultivos extensivos de la región pampeana argentina:
23 aportes del INTA. Informaciones agronómicas del cono sur. Inpofos 30: 19-21

24 INTA. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica de trigo
25 campaña 2005. Publicación Miscelánea N° 103: 14-26.

1 **Lorenzatti S.** 2003. La rotación de cultivos: Una herramienta poco utilizada.
2 Revista técnica: Conociendo el suelo en siembra directa. Aapresid. Disponible en:
3 <http://www.agroparlamento.com.ar/agroparlamento/notas.asp?n=0562>. Ultimo acceso:
4 marzo 2016.

5 **Maddoni G., R. Ruiz, P. Vilariño & I. Garcia de Salomone.** 2003. Fertilización
6 en los cultivos para grano. Capítulo 19: 501 – 557 pp. Producción de granos: Bases
7 funcionales para su manejo. Editorial: Facultad de agronomía (UBA).

8 **Manchado C.** 2010. La sustentabilidad en la agricultura pampeana: Valoración
9 económica del balance de nutrientes para las principales actividades agropecuarias
10 extensivas en la Región Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires. XLI Reunión Anual
11 de la Asociación Argentina de Economía Agraria – AAEA. 18 pp.

12 **Martínez, F.** 2010. Crónica de la soja en la región pampeana Argentina. Instituto
13 Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Oliveros. Para
14 mejorar la producción 45: 141- 146. Disponible: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-crnica-de-la-soja-en-la-regin-pampeana-argentina.pdf)
15 [tmp-crnica-de-la-soja-en-la-regin-pampeana-argentina.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-crnica-de-la-soja-en-la-regin-pampeana-argentina.pdf). Ultimo acceso: noviembre
16 2015.

17 **Novillo, B; A. Pellegrini; A. Chamorro; R. Bezus; A. Voisin; J. Lanfranco & S.**
18 **Golik.** 2016. Distribución del carbono orgánico y la fracción particulada en diferentes
19 secuencias de cultivos. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS. 7 pp.

20 **Papa J. C. & D. Tuesca.** 2009. Los problemas actuales de malezas en la región
21 sojera núcleo argentina: origen y alternativas de manejo. INTA EEA Oliveros. 24 pp.

22 **Pellegrini A., A. Chamorro, R. Bezus, S. Golik & A. Frias Calvo.** 2014. Efecto
23 de las rotaciones con soja de segunda en La Plata. XXIV Congreso Argentino de la
24 Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas. Bahía
25 Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.

1 **Pengue, W.** 2001. Impactos de la expansión de la soja en Argentina.
2 Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: un modelo para armar.
3 Biodiversidad 29:7-14. Disponible: [https://www.grain.org/article/entries/453-expansion-de-](https://www.grain.org/article/entries/453-expansion-de-la-soja-en-argentina)
4 [la-soja-en-argentina](https://www.grain.org/article/entries/453-expansion-de-la-soja-en-argentina). Ultimo acceso: noviembre 2015.

5 **Salvagiotti, F., K. Cassman, J. Specht & D. Walters.** 2008. Nitrogen uptake,
6 fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. Field Crops Research 108, 1-
7 13.

8 **Sarandón, S.** 2002. La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El
9 impacto de la agricultura intensiva de la revolución verde. Cap 1: 23-47. En: Agroecología.
10 El camino hacia una agricultura sustentable. SJ Sarandón (Editor). Ediciones Científicas
11 Americanas. Argentina.

12 **Sarlangue H.** 2002. La importancia del maíz en la rotación. Disponible en:
13 [http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/03/inta-balcarce-la-importancia-del-maiz-](http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/03/inta-balcarce-la-importancia-del-maiz-en-la-rotacion.pdf)
14 [en-la-rotacion.pdf](http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2010/03/inta-balcarce-la-importancia-del-maiz-en-la-rotacion.pdf) . Ultimo acceso: junio 2016.

15 **Satorre E.** 2002. Guía Dekalb del cultivo de maíz. Ed. Servicios y marketing
16 agropecuario. 296 pp.

17 **Satorre E. H.** 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual.
18 Ciencia Hoy N° 87. Volumen 15: 24-31.

19 **SIIA.** 2016. Sistema integrado de información agropecuaria. Disponible en:
20 <http://www.sii.gov.ar/>. Ultimo acceso: marzo 2016.

21 **Studdert G. & H. Echeverría.** 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to
22 manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1496-1503.

23 **Torres Duggan, M.** 2014. Claves para optimizar la fertilización del cultivo de trigo.
24 Revista fertilizar N°28, pp: 10 – 15. Disponible en:
25 <http://www.fertilizar.org.ar/subida/revistas/28.pdf>. Ultimo acceso: mayo 2016.

1 **Viglizzo E. & E. Jobbágy.** 2010. Expansión de la frontera agropecuaria en
2 Argentina y su Impacto ecológico-ambiental. Ediciones INTA. 102 pp. Capítulo 1:
3 Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico. Pp: 9 – 16.

4 **Zadoks J, T. Chang & C. Konzak.** 1974. A decimal code for the growth stages of
5 cereals. Weed Research. 14: 415-421.

6

7

1 **Anexo 1: Tablas y Figuras**

2 Tabla 1: Extraccion de nutrientes en kilogramos por tonelada de grano producida
3 según el cultivo.

Cultivo	N	P	K	S
Soja	48,50	5,40	16,80	2,80
Maíz	13,10	2,64	3,47	1,22
Trigo	18,11	3,52	3,52	1,51
Avena	20,00	3,00	3,00	1,80
Cebada	15,00	3,00	5,00	2,00
Colza	38,00	11,00	28,00	7,00
Sorgo	20,00	4,00	4,00	2,00
Girasol	24,00	7,00	6,00	2,00

4
5 Tabla 2: Fertilizantes y dosis en kg.ha⁻¹ y l.ha⁻¹ en el caso de los fertilizantes
6 foliares empledas para cada cultivo. La fertilizacion de base se realizó para ambos niveles
7 tecnologicos.

Año	Cultivos	Fertilizantes			
		Tipo	Base	NTM	NTA
1	Cereales invierno	Fosfato diamónico	50		
		Urea		100	140
	Colza	Fosfato diamónico	50		
		Urea		100	120
		Fosfato monoamónico enriquecido en azufre			100
Soja segunda	Niebla (foliar)			6	
2	Maíz	Superfosfato triple	80		
		Urea		100	140
3	Soja primera	Start fert (foliar)			1
	Girasol	Fosfato diamónico			60
		Urea			50
	Sorgo	Urea			50
4	Trigo	Fosfato diamónico	50		
		Urea		100	140

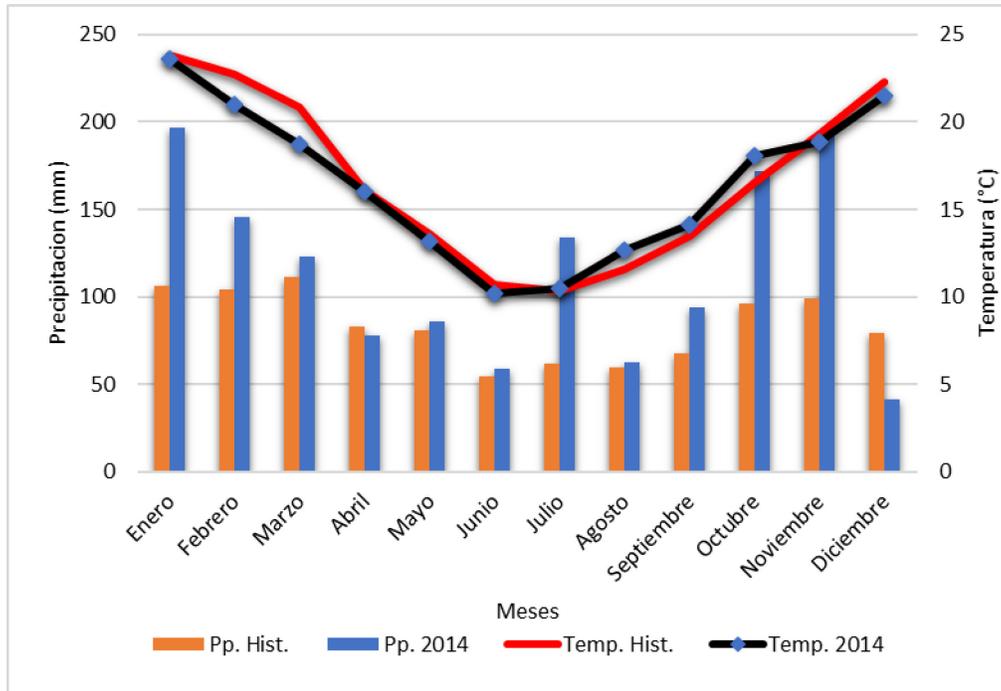
- 1 Tabla 3: Fechas de ocurrencia de los distintos estados fenológicos del trigo durante la
 2 campaña 2014 según la escala Zadoks *et al.* (1974).

Estado	Fecha
Siembra	05/07/2014
Z 2.3 – Z 2.4 (fertilización)	22/08/2014
Z 3.3 – Z 3.4	30/09/2014
Z 4.9 – Z 5.0	16/10/2014
Z 6.5	25/10/2014
Cosecha	02/12/2014

- 3
 4 Tabla 4: Número macollos.m⁻², rendimiento y componentes del rendimiento para trigo,
 5 bajo distintas secuencias de cultivo y niveles de tecnología.

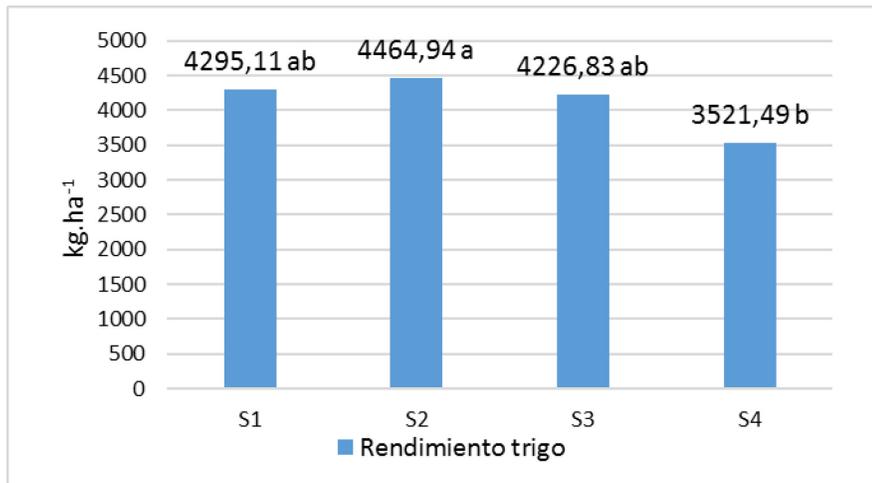
Secuencia	Macollos.m ⁻²	Granos.m ⁻²	PMG (g)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
S1	267,71	12922,70	33,25	4295,11
S2	280,63	13941,22	32,06	4464,94
S3	266,04	12211,88	34,68	4226,83
S4	227,92	10529,71	33,54	3521,49
Nivel tecnológico				
Medio	266,77	12710,73	33,43	4236,03
Alto	254,38	12092,73	33,34	4018,15

6



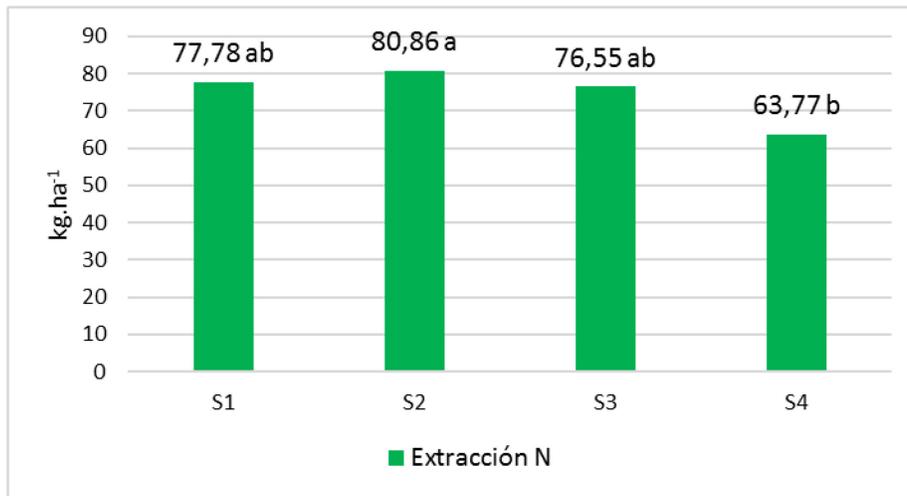
1 Figura 1: Precipitaciones y temperaturas medias mensuales para el año 2014 e históricas
 2 (Temp. Serie: 1969 – 2009; Presip. Serie: 1964 – 2009) en La Plata. (Fuente: Estación
 3 Meteorológica de la Estación Experimental J. Hirschhorn).

4



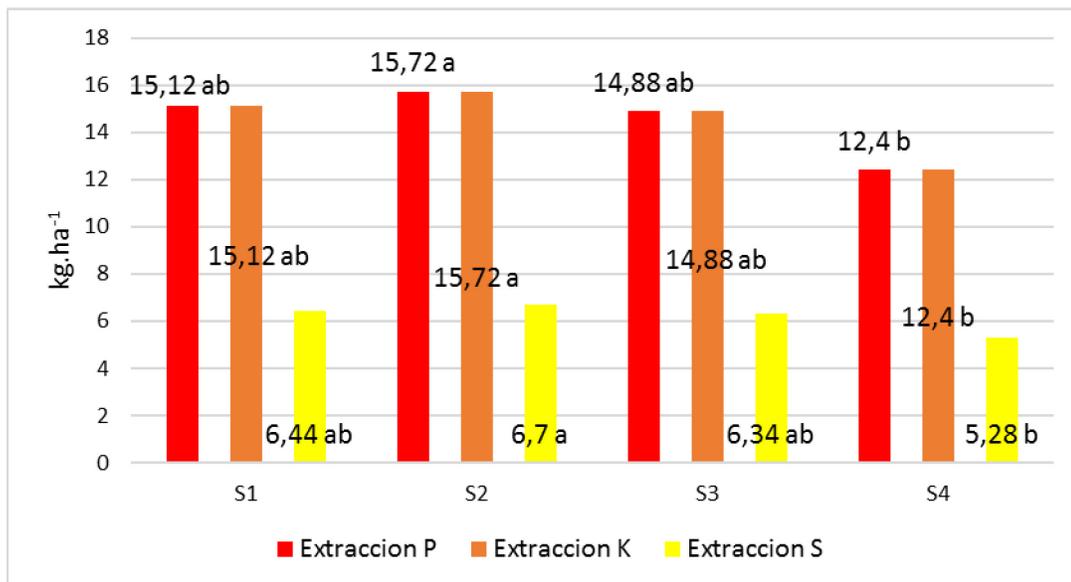
13 Figura 2: Rendimiento de trigo en kg.ha⁻¹, bajo cuatro secuencias de cultivos. Medias con
 14 una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

1
2
3
4
5
6
7
8
9



10 Figura 3: Extracción de nitrógeno en kg.ha⁻¹ por el cultivo de trigo bajo cuatro secuencias
11 de cultivos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la
12 prueba de Tukey (p > 0,05).

13
14
15
16
17
18
19
20
21
22



23 Figura 4: Extracción de P, K y S en kg.ha⁻¹ por el cultivo de trigo bajo cuatro secuencias
24 de cultivos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la
25 prueba de Tukey (p > 0,05).

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

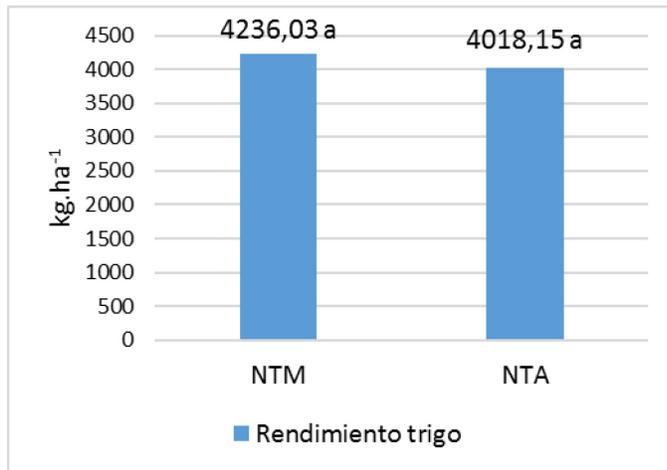


Figura 5: Rendimiento del cultivo de trigo en kg.ha⁻¹ para dos niveles tecnológicos: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

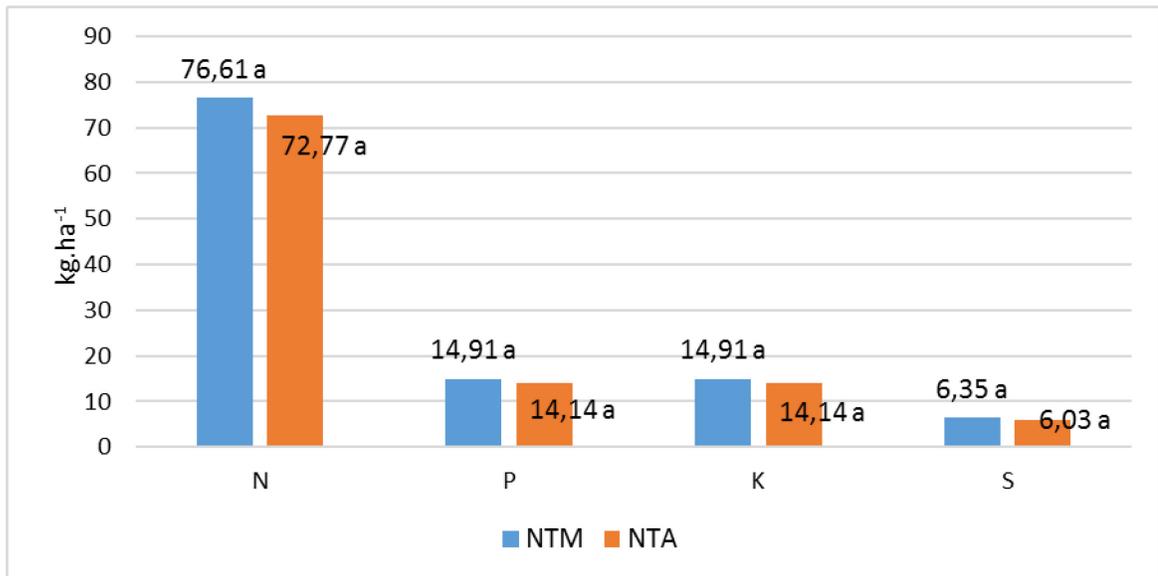


Figura 6: Extracciones de N, P, K y S en kg.ha⁻¹ para dos niveles tecnológicos: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

16

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

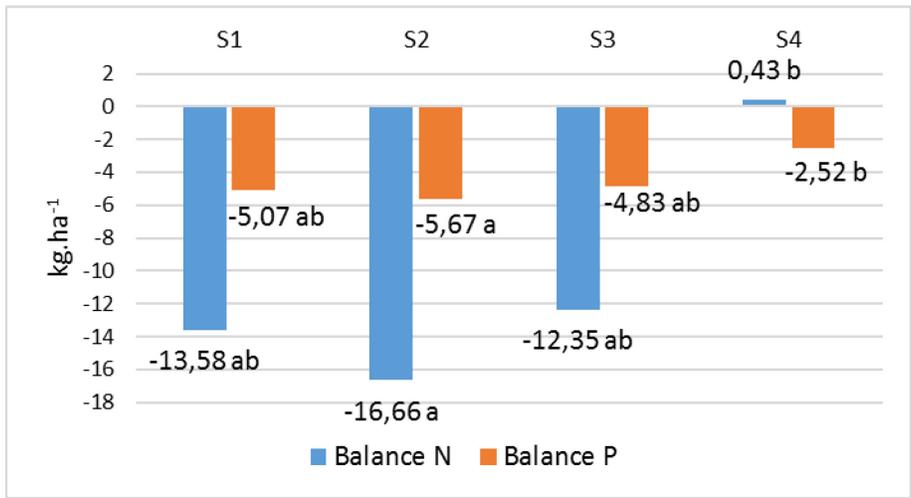


Figura 7: Balance de N y P en kg.ha⁻¹ para el cultivo de trigo bajo cuatro secuencias de cultivos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

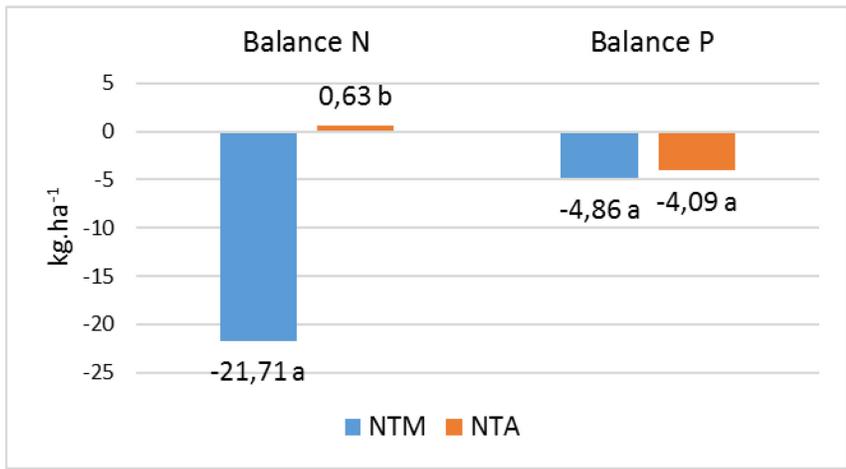
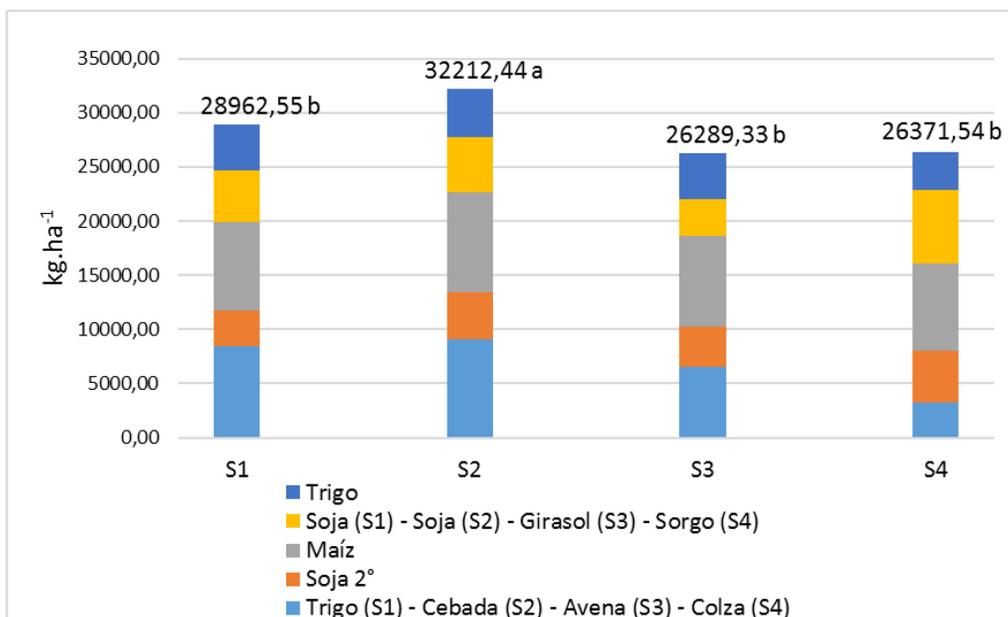
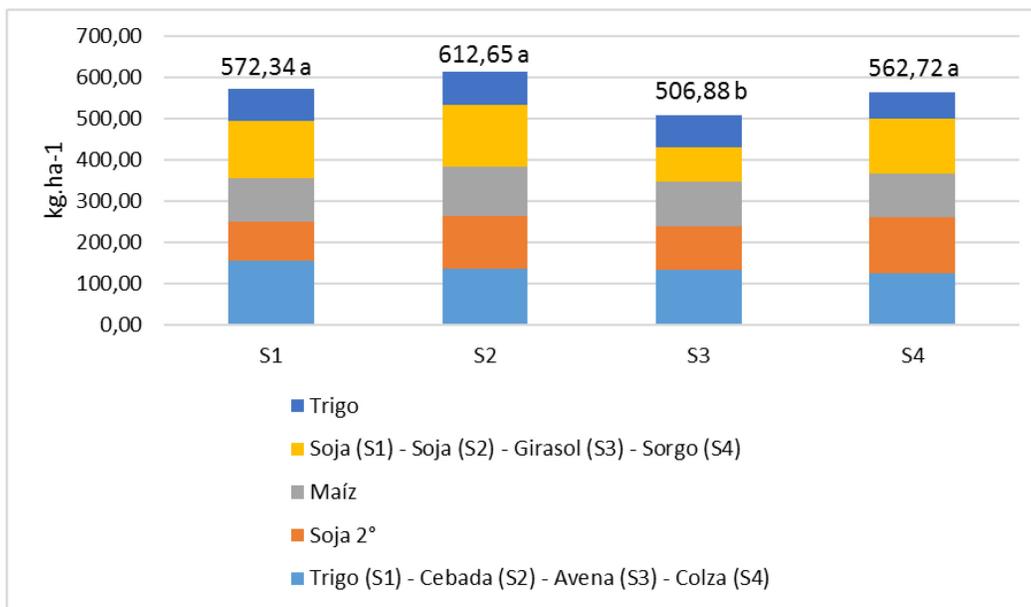


Figura 8: Balance de N y P en kg.ha⁻¹ para el cultivo de trigo según el nivel tecnológico empleado: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

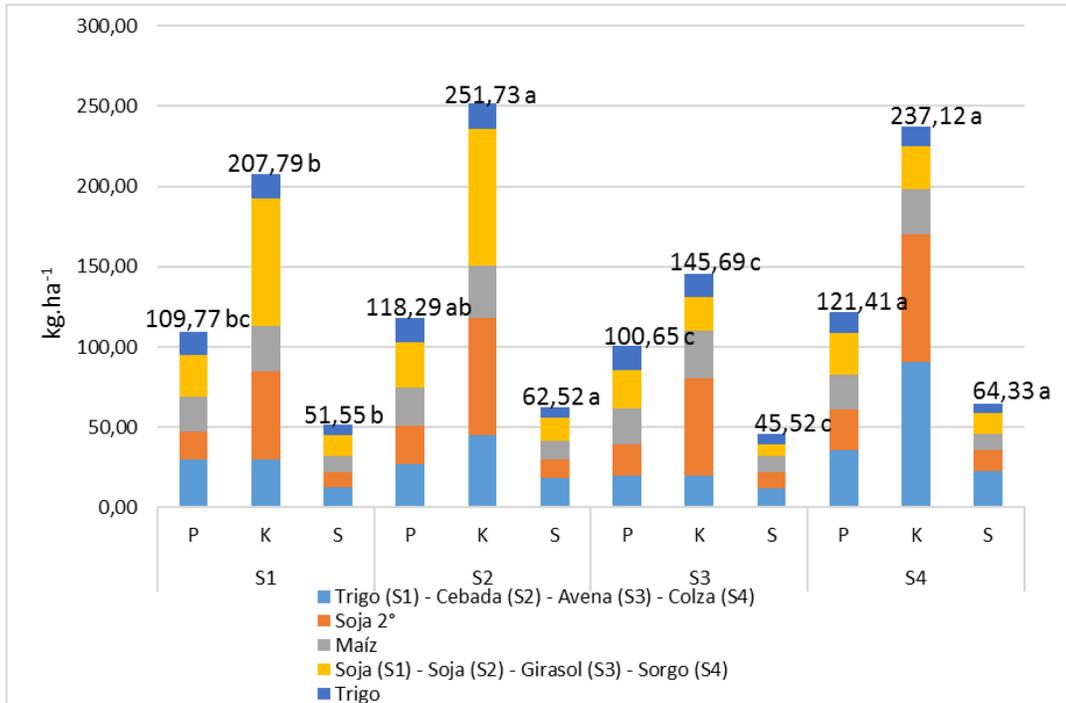


1 Figura 9: Rendimiento total en grano (kg.ha⁻¹) para cuatro secuencias de cultivos y aporte
 2 de cada cultivo en el rendimiento. Medias con una letra común no son significativamente
 3 diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

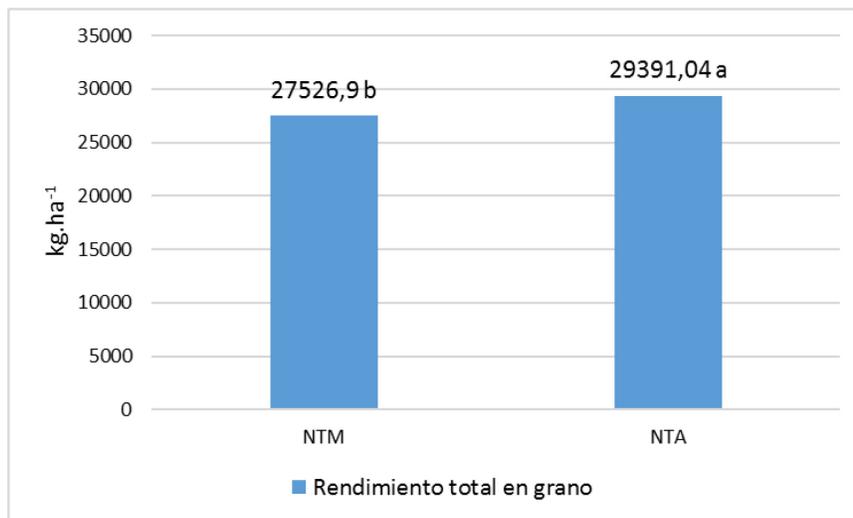


4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

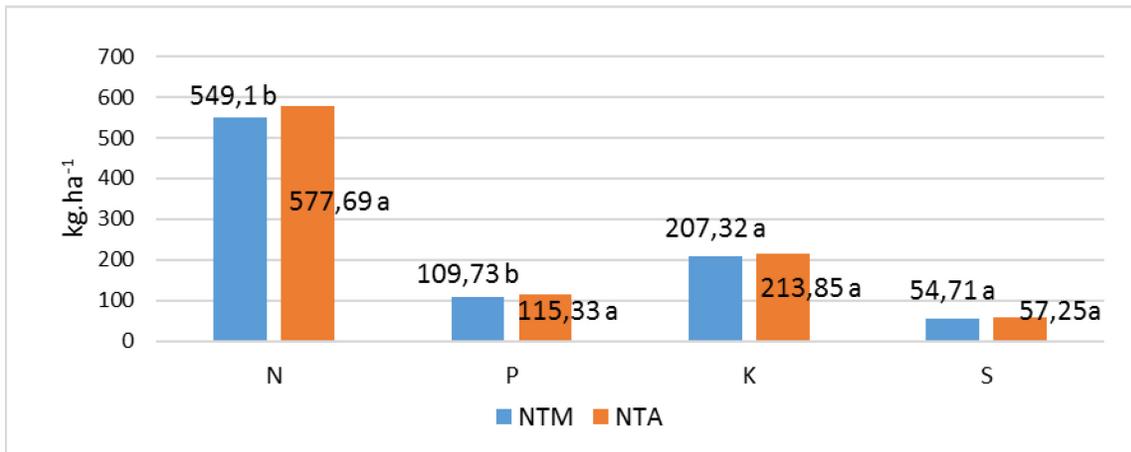
14 Figura 10: Extracciones de nitrógeno en kg.ha⁻¹ para cada secuencia y dentro de ésta por
 15 cada cultivo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la
 16 prueba de Tukey (p > 0,05).



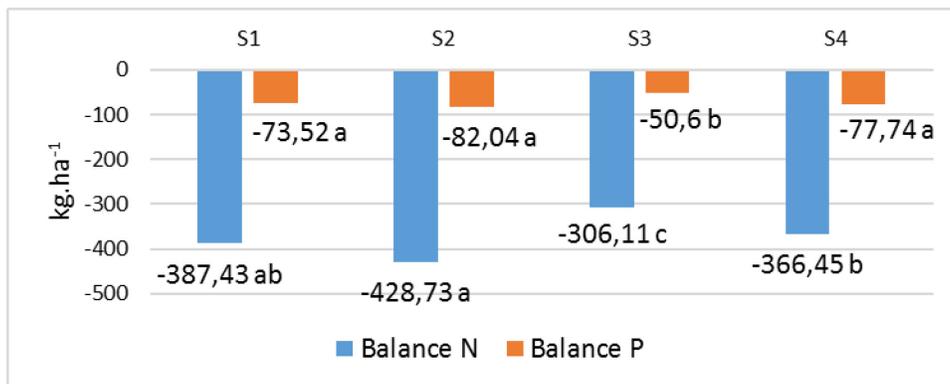
1 Figura 11: Extracciones de P, K y S en kg.ha⁻¹ para cada secuencia y dentro de estas
 2 para cada cultivo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes según
 3 la prueba de Tukey (p > 0,05).



4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13 Figura 12: Rendimiento en grano (kg.ha⁻¹) según el nivel tecnológico empleado: nivel
 14 tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con una letra común no
 15 son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).



1 Figura 13: Extracciones de nutrientes en kg.ha⁻¹ según el nivel tecnológico empleado:
 2 nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con una letra común
 3 no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).



4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

10 Figura 14: Balance de N y P en kg.ha⁻¹ para cuatro secuencias de cultivos. Medias con
 11 una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

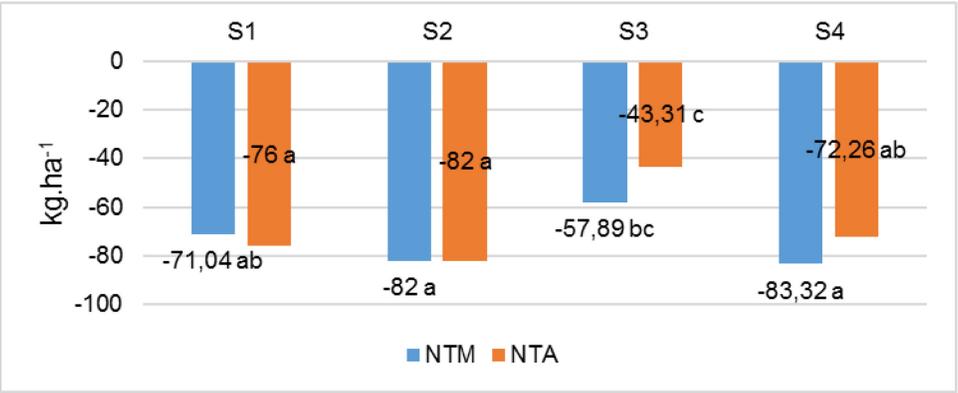


Figura 15: Balance de fósforo en kg.ha⁻¹ para cuatro secuencias de cultivos bajo dos niveles tecnológicos: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

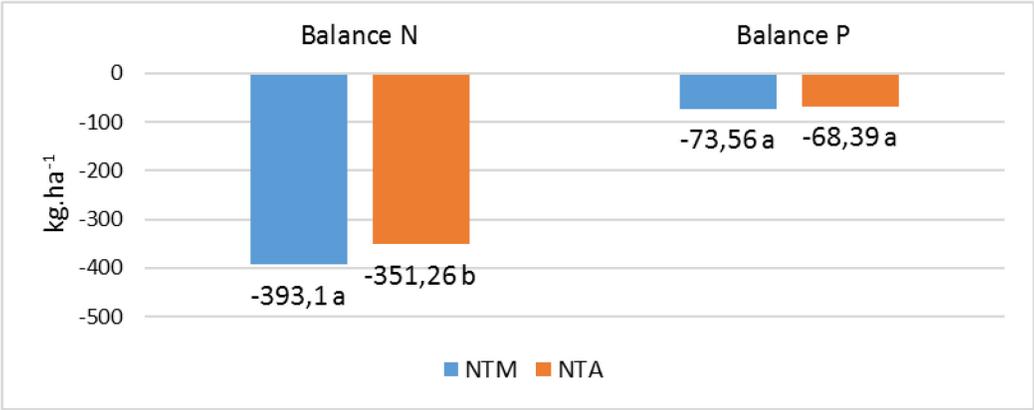


Figura 16: Balance de N y P en kg.ha⁻¹ según el nivel tecnológico empleado: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey (p > 0,05).

1 **Anexo 2: Manejo de los cultivos anteriores al trigo**

2 Tanto la siembra, manejo y evaluación de la biomasa, rendimiento y sus
3 componentes de los cultivos participantes en las distintas secuencias anteriores al cultivo
4 de trigo fueron analizados por los docentes a cargo de los ensayos y distintos tesistas,
5 becarios y pasantes.

6 **a. Cereales de invierno**

7 La siembra se realizó en forma manual el 8/7/2011, en surcos separados a 17,5
8 cm, con una densidad de 300 plantas.m⁻². Todas las parcelas y subparcelas fueron
9 fertilizadas a la siembra con 50 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico. Luego al estado de
10 macollaje, en la fecha 16/8/2011 se realizó una fertilización con urea a razón de 100
11 kg.ha⁻¹ para el NTM y 140 kg.ha⁻¹ para el NTA. La variedad de trigo utilizada fue Buck
12 Meteoro, para la avena Bonaerense INTA Calén y para la cebada Scarlett.

13 No se hizo aplicación de fungicidas porque no se dieron las condiciones y por lo
14 tanto no se alcanzaron los umbrales necesarios para aplicar. Se realizó un tratamiento
15 con herbicida Misil II en dosis de 0,1 l/ha el 1/9/2011

16 La cosecha se realizó el 25/11 para la cebada, el 5/12 para la avena y el 10/12
17 para el trigo.

18 **b. Colza**

19 Se sembró con sembradora experimental de siete surcos distanciados a 20 cm, el
20 24/5/2011, con una densidad de 100 plantas.m⁻¹. Se realizó una fertilización de base con
21 50 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico. Para el NTM la fertilización se efectuó al estado
22 fenológico C2 (elongación) el 11/8/2011 con 100 kg.ha⁻¹ de urea y para el NTA con 120
23 kg.ha⁻¹ urea y 100 kg.ha⁻¹ de fosfato monoamónico azufrado. Se utilizó el híbrido Hyola
24 571.

1 No se realizó ningún tratamiento preventivo con fungicidas para el control de
2 esclerotinia (*Sclerotinia spp.*) ya que no se dieron las condiciones de humedad.

3 La cosecha se realizó el 7/11/2011.

4 **c. Soja de segunda**

5 Se sembró en surcos a 50 cm (inmediatamente después de la cosecha del cultivo
6 antecesor con previo picado del rastrojo) a una densidad de 25 semillas por metro (50
7 plantas por m²), la que fue previamente inoculada. Las variedades de soja utilizadas
8 cambiaron, de acuerdo a las recomendaciones usuales para la siembra (Baigorri *et al.*,
9 2009) en función del cultivo antecesor y del nivel tecnológico utilizado: DM4970 (107
10 kg/ha) para antecesor trigo y avena para ambos tratamientos; DM4210 (103 (kg/ha) para
11 el antecesor cebada y los dos niveles tecnológicos y para el caso de la colza se usó
12 DM3810 (97 kg/ha) para NTA y DM4210 (94 kg/ha) para NTM. Las fechas de siembra de
13 la soja fueron 14/11/2011 para el antecesor colza, 2/12 para el de cebada, 13/12 para el
14 de avena y 16/12 para el antecesor trigo.

15 Se realizaron aplicaciones de glifosato en todas las secuencias y niveles
16 tecnológicos para el control de malezas. Para el control de plagas se usó cipermetrina
17 más endosulfan para controlar chinches y cipermetrina más dimetoato para barrenador.
18 No se realizaron aplicaciones de fungicidas.

19 Se fertilizó solamente en el NTA con fertilizante foliar Niebla en R2 avanzado a una
20 dosis de 6 l.ha⁻¹.

21 La cosecha de soja se realizó el 4/4/2012 para el antecesor colza y el 19/4 para los
22 antecesores cereales de invierno.

23 **d. Maíz**

1 La siembra se realizó el 26/10/2012, previamente se hizo un control de malezas
2 con glifosato (1,5 l/ha). El híbrido utilizado en maíz fue DM 2741 MG RR2, un híbrido
3 simple, semidentado, anaranjado, Bt, de ciclo intermedio y con 72 días a floración.

4 Se sembró a una densidad de 8 plantas/m². Se sembraron 4 surcos por parcela a
5 70 cm. La siembra se hizo en directa a mano, 2 semillas por pozo distanciadas a 20 cm y
6 luego se raleo a una.

7 Fue fertilizado a la siembra con 80 kg/ha⁻¹ de superfosfato triple y con 100 kg/ha⁻¹
8 de urea para el nivel tecnológico medio y con 140 kg/ha⁻¹ para el nivel tecnológico alto en
9 V5- V6 el 26/11/12.

10 **e. Soja de Primera**

11 Se realizó la siembra el 19/11/2013 a una densidad de 20 semillas.m⁻¹. Las
12 variedades usadas fueron DM 5.1 para el NTM y DM 4210 para el NTA.

13 Se realizó un barbecho previo a la siembra el 30/8/2013 con glifosato y 2,4-D. el
14 10/12/2013 se efectuó un control de malezas con glifosato y el 20/2/2014 se realizó
15 control de chinches con endosulfan y lambdacialotrina.

16 Se fertilizó solamente las parcelas correspondiente al NTA con fertilizante foliar
17 StartFert a una dosis de 1 l/ha⁻¹ en R5.

18 La cosecha se realizó el 10/4/2014.

19 **f. Girasol**

20 La siembra se realizó el 4/11/2013. Se usó el híbrido Paraíso 22 a una densidad de
21 57.000 plantas/ha⁻¹, a una distancia de 0,7 m entre hileras y 0,25 m entre plantas.

22 Previo a la siembra se realizó un barbecho químico con glifosato y 2,4-D el
23 30/8/2013. El 5/11/2013 se aplicó fluorocloridrona más glifosato para el control de
24 malezas.

1 Para el caso del NTM no se fertilizo y para el NTA la misma se efectuó a razón de
2 60 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico a la siembra y 50 kg.ha⁻¹ de urea aplicado en V6-V7 el
3 9/12/2013.

4 La cosecha se realizó el 5/3/2014.

5 **g. Sorgo**

6 Se sembraron 14 semillas.m⁻¹ lineal el 13/11/13. El híbrido utilizado fue AD64.

7 Se realizó un barbecho previo a la siembra con glifosato y 2,4-D el 30/8. El 2/11 se
8 hizo un control de malezas presiembra con glifosato. Se aplicó en preemergencia atrazina
9 más propaclor el 27/11.

10 Se fertilizó con 50 kg.ha⁻¹ de urea al estado de V5-V6 el 10/12/13 para el NTA. En
11 el NTM no se realizó ningún tratamiento. Se cosechó el 1/4/2014

12

13

14

15

16

17

18

19