



ROTACIONES

Evaluación de diferentes secuencias de rotaciones con un enfoque sistémico.

Perez, G.; Estelrich, C. y Pereyro, A.

Introducción

La agronomía tradicional está siendo crecientemente cuestionada. Fernández *et al.* (2019) plantean la existencia de dos líneas principales de pensamiento. Por un lado, hay quienes están convencidos de que los cambios necesarios ya están en marcha en el contexto del paradigma actualmente predominante (agricultura industrial), y qué, con buenas prácticas diri-

gidas hacia una mayor sustentabilidad, se alcanzarán los objetivos.

Por otro lado, hay quienes tienen una visión diametralmente opuesta, encarnada en la agroecología, la cual postula que el gradualismo no es suficiente, y que hace falta una transformación mucho más profunda de los sistemas de producción.

Ante la necesidad de aportar información técnica en el centro-oeste de la provincia de Buenos Aires respecto del comportamiento de los factores productivos, económicos y ambientales en los distintos sistemas de producción agrícola, se evaluaron diferentes secuencias de cultivos en una rotación de 3 años en la Chacra Experimental de Bellocq.

Materiales y métodos

En la campaña 2017/18 se instaló un ensayo de larga duración en la Chacra Experimental Bellocq, unidad dependiente del Ministerio de Desarrollo Agrario de la provincia de Buenos Aires (35°55'49"S, 61°29'17"O), en un lote de 4 hectáreas, que provenía de soja de primera,

se implantaron 4 secuencias de cultivos y una pastura consociada. Cada rotación constituye un tratamiento a saber: T1: maíz, soja, trigo/soja 2°; T2: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2°; T3: arveja/maíz 2°, cebada/girasol 2°, trigo/soja 2° y T4: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2°. Los cultivos de centeno y vicia se emplearon como coberturas.

Los cultivos integrantes de cada tratamiento fueron sembrados durante la misma campaña, en parcelas de 10m de ancho por 30m de largo, con un diseño de bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones.

Los bloques se agruparon de manera homogénea dentro de la variabilidad del relieve que poseía el lote. En la tabla 1 se observan los valores iniciales del análisis de suelo para cada sitio.

Tabla 1: Valores iniciales de análisis de suelo (0-20 cm) para cada bloque en donde se instaló el ensayo (P: fósforo extractable; MO: materia orgánica; N: nitrógeno; NAN: nitrógeno anaeróbico mineralizable; S: azufre; CE: conductividad eléctrica).

Bloque	P (mg kg ⁻¹)	M.O. (%)	N-Nitrato (mg kg ⁻¹)	Nmin (mg kg ⁻¹)	S-Sulfato (mg kg ⁻¹)	pH	C.E. (dS m ⁻¹)
1	10,3	2,7	28,3	43,7	9,1	5,8	0,22
2	13,1	4,0	39,2	57,0	7,7	5,9	0,28
3	10,6	3,6	31,5	54,6	6,4	5,9	0,26

En la tabla 2 se presentan los valores de temperatura media y precipitaciones ocurridos desde el año de comienzo del ensayo en Bellocq.

Tabla 2: Precipitaciones históricas (PH), temperatura media (T) y precipitaciones (P) correspondientes a los años 2017, 2018, 2019 y 2020 en Bellocq.

Mes	PH (mm) 1941 - 2016	2017		2018		2019		2020	
		T (°C)	P (mm)						
Enero	98,1	24,5	119	23,5	59	22,7	137	22,4	151
Febrero	99	23,4	187	23,4	97	21,1	13	21,7	89
Marzo	124,5	20,0	102	19,2	85	18,2	160	20,9	190
Abril	86,6	15,9	115	18,4	70	16,5	61		
Mayo	50,1	13,3	24	13,4	65	12,2	49		
Junio	32,2	11,1	71	8,0	27	10,5	35		
Julio	32,2	10,3	27	8,2	50	8,4	0		
Agosto	33,7	12,2	85	9,7	48	10,0	0		
Septiembre	53,6	13,1	132	14,1	168	12,5	13		
Octubre	97	15,8	110	15,7	95	15,8	72		
Noviembre	96,7	18,9	62	19,5	78	20,5	73		
Diciembre	97,3	23,1	0	21,5	179	21,7	69		

El manejo de los tratamientos 1 y 2 se realizó en siembra directa, con el uso de herbicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes de origen inorgánico. El tratamiento T4, se llevó adelante en su totalidad sin el uso de los mencionados químicos, donde el control de malezas se efectuó de forma mecánica con rastra de discos, y el ciclo de los cultivos

de cobertura (CC) fue interrumpido a través del rolado.

La cosecha de todos los cultivos se realizó de forma manual, a razón de 3 submuestras de 2 m² en cada parcela. Luego las muestras fueron trilladas, pesadas, evaluada su humedad y corregido su rendimiento según estándar de comercialización para cada cultivo. Los resulta-

dos fueron analizados mediante ANOVA. Las medias de los tratamientos se analizaron mediante el test de LSD.

A partir del rendimiento obtenido en las parcelas y el registro de labores e insumos empleados en cada tratamiento se realizaron los márgenes brutos correspondientes. En relación a su cálculo, se exponen las siguientes aclaraciones:

- Para todos los cultivos se consideró el 100% de la semilla comprada y no de producción propia.
- Los precios de los granos se obtuvieron del Mercado a Término de Buenos Aires, considerados a la fecha en que se realizó la cosecha.
- Los precios de las labores surgen de los valores reales del módulo de producción agrícola de la Chacra.
- Los precios de los insumos se toman de agronomías locales.
- Para el cálculo de los gastos de comercialización se empleó la revista Márgenes Agropecuarios.
- No se incluye el costo de arrendamiento, seguros, ni dirección técnica.

Se realizaron balances parciales de N (nitrógeno) y P (fósforo) teniendo en cuenta el aporte de las dosis de fertilizantes in-

orgánicos empleados en cada tratamiento (Tabla 3) y la exportación a partir de la cantidad de nutrientes extraída por tonelada de grano producido para cada cultivo (INPOFOS, 2004). Se consideró que un 58 % del N extraído por el cultivo de soja proviene de la fijación biológica (FBN) (Salvagiotti *et al.*, 2015), y que la vicia utilizada como cultivo de cobertura (CC) aporta 38 kg de N por tonelada de materia seca aérea producida (Vanzolini *et al.*, 2010). No se contabilizó el aporte del suelo ni de las raíces.

Tabla 3: Dosis en kg ha⁻¹ de MAP y UREA aplicados en cada cultivo de los tratamientos 1 y 2.

Tratamiento	Cultivo	MAP	UREA
T1	Maíz	90	150
	Soja	80	0
	Trigo	90	170
	Soja 2da	60	0
T2	Vicia	45	0
	Maíz	90	150
	Centeno	45	0
	Soja	80	0
	Trigo	90	170
	Soja 2da	60	0

La intensificación de cada secuencia se midió a través del índice de intensificación de la secuencia (IIS) en función de la cantidad de meses ocupados con cultivo en relación al total de meses considerados en el tra-

bajo.

Para el cálculo del impacto ambiental de cada rotación se utilizaron dos índices:

- EIQ, método propuesto por Kovach *et al.* (1992). La fórmula para determinar el valor EIQ de los pesticidas individuales se enumera a continuación y considera el trabajador agrícola, el consumidor y el medio ambiente:

$$EIQ = \{C [(DT * 5) + (DT * P)] + [(C * ((S + P) / 2) * SY) + (L)] + [(F * R) + (D * ((S + P) / 2) * 3) + (Z * P * 3) + (B * P * 5)]\} / 3$$

DT = toxicidad dérmica

C = toxicidad crónica

SY = sistemicidad

F = toxicidad de los peces

L = potencial de lixiviación

R = potencial de pérdida de superficie

D = toxicidad de aves

S = vida media del suelo

Z = toxicidad de abeja

B = toxicidad beneficiosa para artrópodos

P = vida media de la superficie de la planta.

Los valores de EIQ de cada herbicida se obtuvieron de Eshenaur *et al.* (2015). Posteriormente se calculó el EIQ de los plaguicidas a campo de la siguiente forma:

$$EIQ_{\text{plaguicidas a campo}} = EIQ_{\text{plaguicida}} * \text{concentración del activo de herbicida} * \text{dosis} * \text{n}^\circ \text{ de aplica-}$$

ciones. Una vez calculado el EIQ_{campo} de cada herbicida se realizó la sumatoria de cada uno de los $EIQ_{\text{plaguicidas a campo}}$ y se obtuvo el EIQ_{total} de cada tratamiento evaluado. De acuerdo a lo propuesto por Stewart *et al.* (2011), se clasificó el nivel de riesgo ambiental como muy bajo (valores de EIQ menores a 5), bajo (valores de EIQ menores a 20), medio (valores de EIQ menores a 45) y alto (valores de EIQ iguales o mayores a 45).

- Índice de Riesgo Ambiental (IRA). Esta herramienta fue elaborada por Arregui *et al.* (2009) a partir del índice Ipest (Van der Werf y Zimmer, 1998). Consiste en un programa que vincula información de la gestión de uso de plaguicidas y componentes agroambientales (relieve, suelo y agua), es de acceso libre y se encuentra en línea en el sitio TIC-TamboFacultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Litoral (<http://www.fca.unl.edu.ar/tictambo/web/index.php/modltox/select>).

La estimación del IRA para cada situación y tipo de cultivo, surge a partir de insumos como la textura del suelo, la pendiente, la materia orgánica, el pH, la distancia a una fuente de agua, el principio activo del pesticida, la dosis y el momento de aplica-

ción. El IRA se obtiene posterior a la aplicación de los pesticidas entre siembra y cosecha del cultivo. Toma valores entre cero (riesgo máximo de contaminación) y 10 (sin riesgo). Valores entre cero y 5 se consideran de alto riesgo, 6 y 7 de riesgo medio y mayores a 7 de riesgo bajo a nulo.

En dos momentos de las campañas (al finalizar el ciclo de los cultivos de verano y de invierno), se tomaron muestras del número de malezas acompañantes (NMA, individuos m^{-2}), biomasa aérea (MSA, $g\ m^{-2}$) y proporción de cada especie para cada parcela, con marcos de $0,25\ m^2$ con una superficie total relevada de $3\ m^2$. Se efectuó una transformación a raíz cuadrada de NMA y MSA para estabilizar las varianzas, y las medias se re-transformaron para su presentación. Se utilizó el procedimiento de modelos generales y mixtos de Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2018). Las medias de los tratamientos se analizaron mediante el test de Tukey.

Resultados

Rendimiento

En la campaña 2019/2020 la variedad de trigo seleccionada para los tres tratamientos

fue Basilio, con misma fecha de siembra en todas las parcelas. Las condiciones climáticas que caracterizaron el ciclo del cultivo, en general, no fueron predisponentes para el desarrollo de enfermedades fúngicas, lo que, sumado a la tolerancia genética del material, no hizo necesaria la aplicación de fungicidas en ninguna parcela. No obstante, los rendimientos alcanzados fueron altos, $7.667\ kg\ ha^{-1}$ y $6.661\ kg\ ha^{-1}$ para T1 y T2, respectivamente, entre los cuales no existieron diferencias estadísticas. En tanto que el T4 arrojó un valor de $4.155\ kg\ ha^{-1}$ (Figura 1), que, si bien es inferior a los demás tratamientos, es muy superior a los kg de granos obtenidos en las campañas anteriores por este sistema, donde la incidencia de enfermedades fue alta.

El cultivo de soja de segunda solo se implantó en T1 y T2, donde rindió $3.407\ kg\ ha^{-1}$ y $3.753\ kg\ ha^{-1}$, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ambos.

Respecto del maíz, el T1 donde el cultivo fue sembrado luego de un barbecho químico de 215 días desde la cosecha de la soja de segunda anterior, el rendimiento alcanzado fue de $12.863\ kg\ ha^{-1}$, en tanto que en el tra-

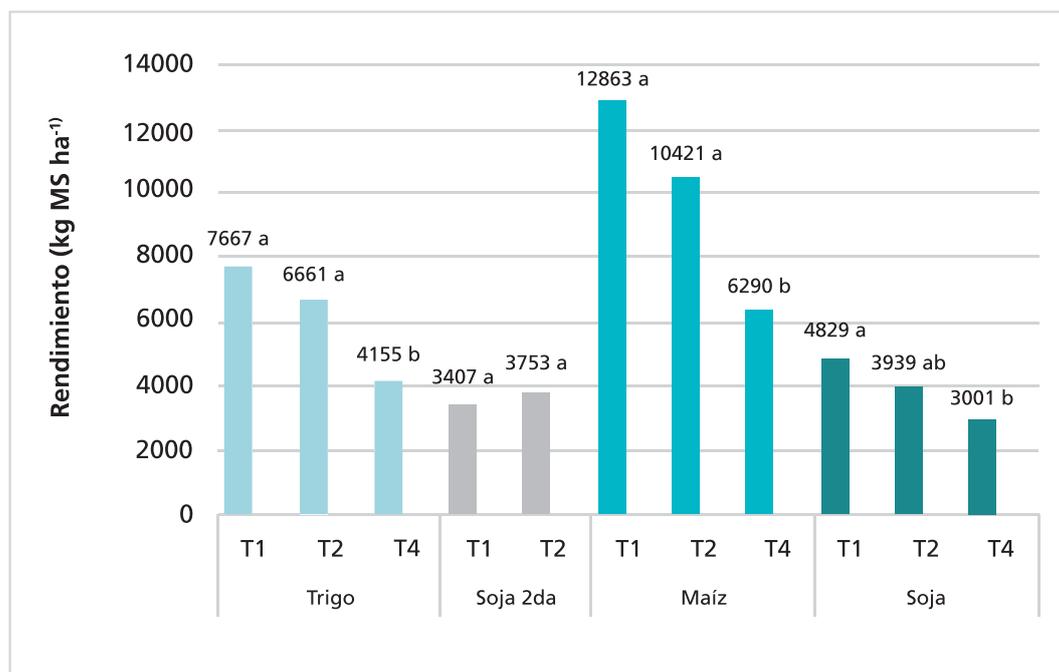


Figura 1: Rendimiento (kg ha^{-1}) de los cultivos de cosecha para cada tratamiento (T1: maíz, soja, trigo/soja 2°; T2: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja; T4: vicia/maíz, centeno/soja, trigo) en la campaña 2019/20. Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos para un mismo cultivo (test LSD, $p \leq 0,05$).

tamiento que provenía de vicia como cultivo de cobertura (CC), se cosecharon $10.421 \text{ kg ha}^{-1}$. La dosis de fertilizantes inorgánicos aplicada en ambos tratamientos fue la misma (90 kg ha^{-1} de MAP y 150 kg ha^{-1} de UREA), a excepción de 45 kg ha^{-1} de MAP utilizados en la siembra de la cobertura del T2.

En el T4 la semilla utilizada fue una variedad, a diferencia de las parcelas anteriores donde se implantó un híbrido. Además, este tratamiento se sembró 16 días más tarde. El rendimiento obtenido fue de 6.290 kg ha^{-1} .

El cultivo de soja para T1, T2 y T4

presentó rendimientos de 4.826 kg ha^{-1} , 3.939 kg ha^{-1} y 3.001 kg ha^{-1} , respectivamente, lo que significa una diferencia de 890 kg ha^{-1} a favor del tratamiento que no incluye centeno como cobertura. En tanto que el T2 rindió 938 kg ha^{-1} por encima del T4.

La suma de los rendimientos arrojados por las especies que conforman la rotación del T1 ha ido en aumento en las tres campañas consideradas, fundamentalmente debido a la suba en los kg ha^{-1} alcanzados por los cultivos de trigo y soja de segunda (Figura 2). En la evolución del

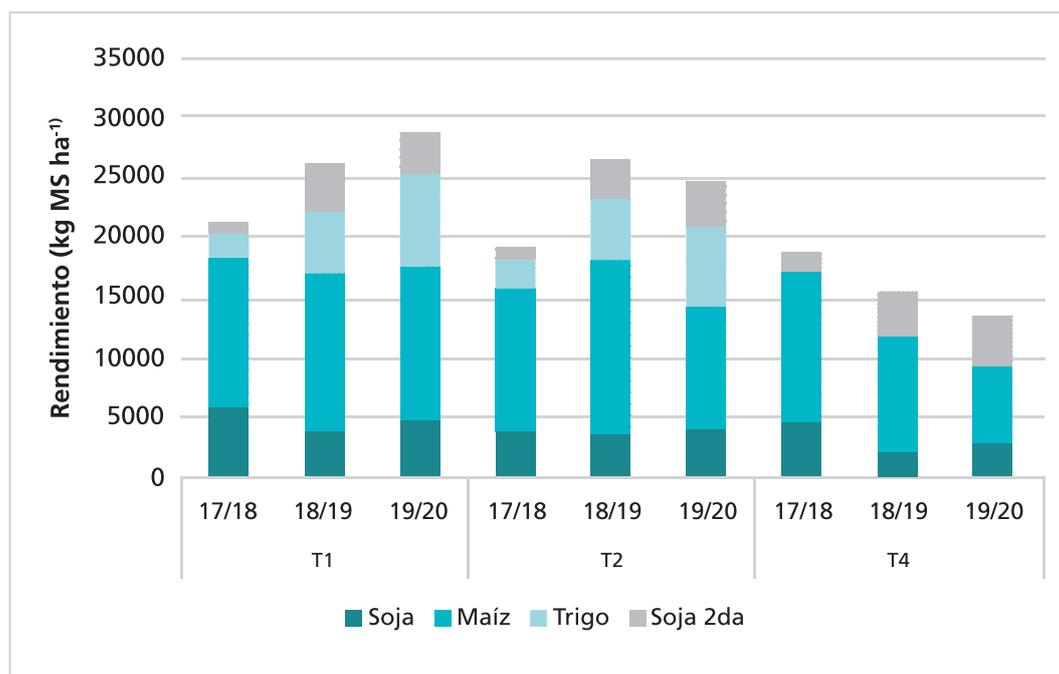


Figura 2: Evolución de los rendimientos (kg ha⁻¹) aportados por los cultivos de cosecha que forman cada rotación (T1: maíz, soja, trigo/soja 2°; T2: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja; T4: vicia/maíz, centeno/soja, trigo) en las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20.

T2, se observa un salto en los rendimientos de la campaña 1 a la 2, también debido a superiores resultados en trigo y soja de segunda, y una disminución en la campaña 3, asociada al menor rendimiento del cultivo de maíz que paso de 14.601 kg ha⁻¹ en 2018 a 10.421 kg ha⁻¹ en 2020. Para el T4, el total de los kg producidos por los cultivos de la rotación ha disminuido con el paso de las campañas. El mayor rendimiento en trigo cosechado en el último ciclo, no logro compensar la baja en el rendimiento de maíz.

En general los rendimientos del

T1 han sido levemente superiores a los del T2 durante tres campañas, encontrándose todos los valores dentro de los rangos esperables para la zona y en algunos casos siendo superiores. En tanto que el T4, siempre aportó resultados menores en términos de kg producidos.

Costos y márgenes brutos

El costo de producir una hectárea de trigo en el T1 y T2 es el mismo, siendo menor en el T4, donde no se aplican fertilizantes, herbicidas ni fungicidas (Figura 3). La conformación de los gastos es distinta para el T4,

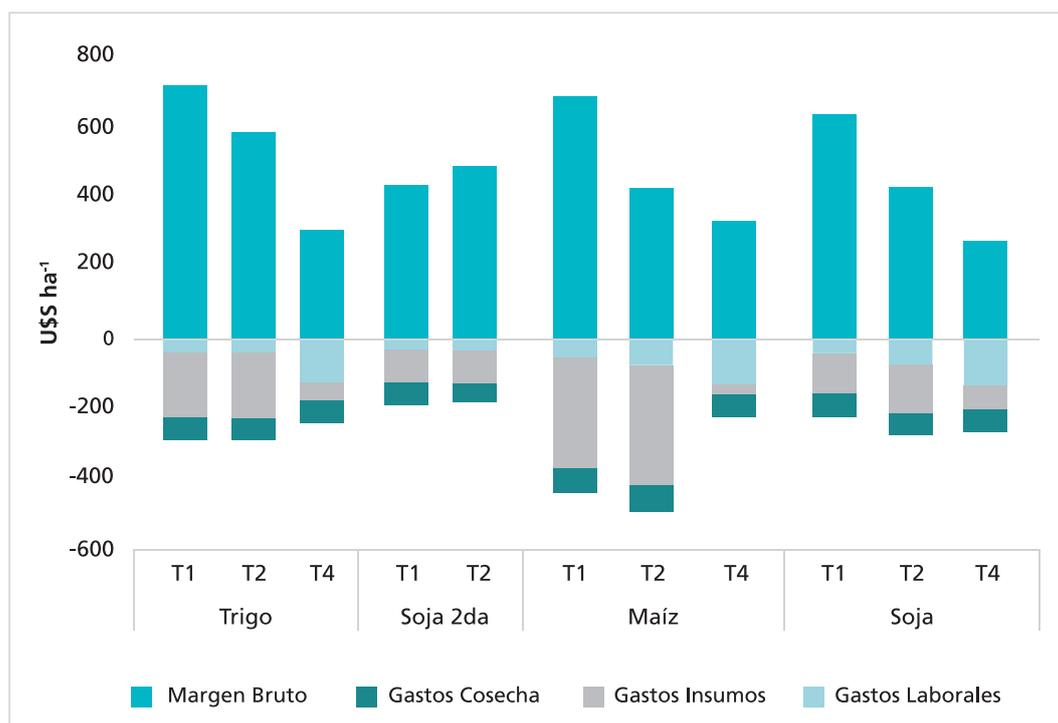


Figura 3: Margen bruto, gastos en insumos, labores y cosecha en u\$s ha⁻¹ para cada cultivo de cada tratamiento en la campaña 2019/20.

ya que las labores tienen mayor peso que los insumos. En los cultivos de maíz y soja los costos de labores son mayores para el T2 respecto del T1, debido a que en el T2 se consideran dos siembras, del CC y del cultivo para cosecha. En tanto que, para el T4, el valor correspondiente a labores es aún mayor, ya que en el inicio de cada ciclo se realizan dos pasadas de disco para controlar las malezas de manera mecánica. Si bien en el T2 se aplican menos herbicidas por el uso de CC, el gasto correspondiente a insumos para la campaña 19/20 resultó 25 u\$s ha⁻¹ y 18 u\$s ha⁻¹

superior al T1 para maíz y soja respectivamente, ya que tienen en cuenta los kg de semilla de vicia y centeno utilizados, y el fertilizante fosforado para los mismos. Los gastos en insumos del T4 son considerablemente menores ya que solo contemplan la semilla y el inoculante o curasemilla biológico, según el caso.

Los márgenes brutos del T1 arrojan valores mayores a los restantes tratamientos, ya que los rendimientos de los cultivos de trigo, maíz y soja en la campaña 19/20 fueron superiores, a pesar de las diferencias de costos. Solo

la soja de segunda propicio un mayor ingreso en el T2 debido a que genero más kg ha⁻¹, a igual costo de producción que el T1. Las toneladas (t) de grano que se deben generar para cubrir los costos de producción por unidad de superficie en los cultivos de maíz y soja son levemente superiores en el T2 respecto del T1, por la inclusión de CC en la rotación, para las tres campañas consideradas (Figura 4). En relación al T4, si bien no se contabi-

liza la soja de segunda, la suma de los rendimientos de indiferencias igualmente es menor, lo cual a priori indica que se deben producir inferior cantidad de kg para alcanzar resultados económicos similares a los restantes tratamientos. En maíz y trigo es donde las diferencias son superiores ya que, en sus respectivos costos de producción, los insumos tienen un mayor peso que en el cultivo de soja.

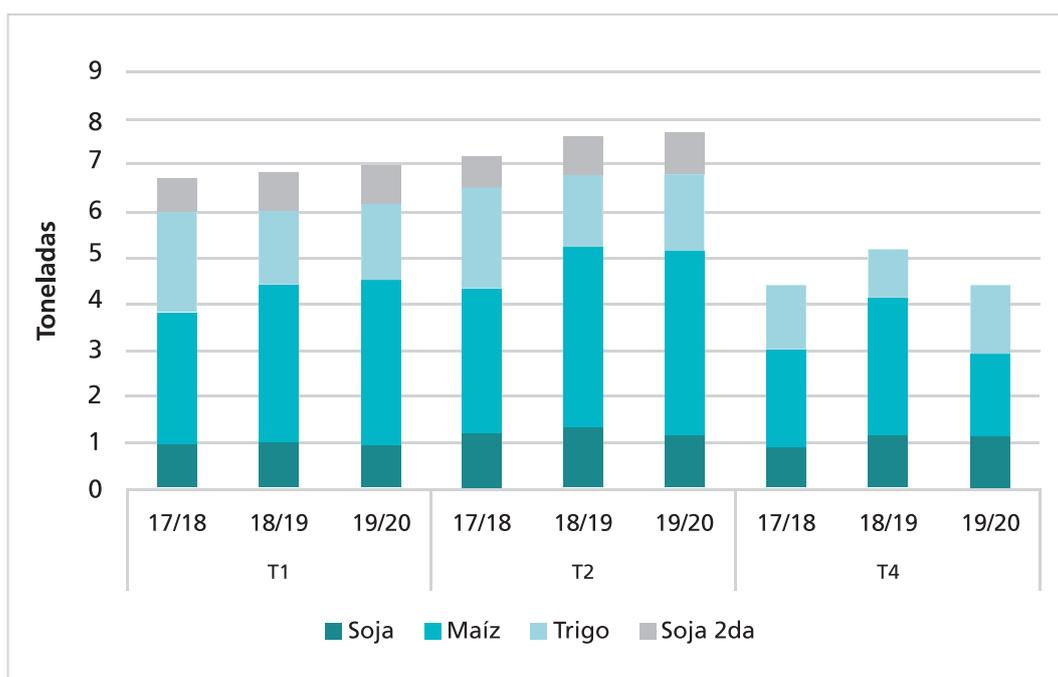


Figura 4: Rendimiento de indiferencia en t (costos totales de producción/valor de la t de cada grano al momento de cosecha) para cada cultivo y tratamiento en las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20.

Balance de N y P

En el primer año de estudio el cultivo de trigo en T1 y T2 arroja un balance de N positivo debido al bajo rendimiento obtenido, de modo que los kg de urea aplicados fueron superiores a la extracción en granos, pero cuando los rendimientos aumentaron, la dosis de fertilizante no fue suficiente (Figura 5). En el cultivo de soja, donde se consideró únicamente el aporte de la fijación biológica, el balance aporta números negativos en todos los tratamientos y campañas. Respecto del maíz, en el T2 donde se contempla el aporte de la vicia y la aplicación de urea, los valores son positivos. En el

T4, la diferencia entre la extracción en grano y el aporte del CC, también es positivo, aunque con rendimientos inferiores. En tanto que, para el T1, el N incorporado mediante fertilizantes inorgánicos no alcanzó a cubrir las salidas de este nutriente del sistema.

Los valores acumulados de N a través de las campañas, considerando todos los cultivos de cada rotación, son negativos en todos los casos (Figura 6). El T2 al tener el aporte del fertilizante más la fijación biológica de soja y vicia presenta resultados más cercanos a la neutralidad. El T4 se posiciona en una situación intermedia, ya que a pesar de que

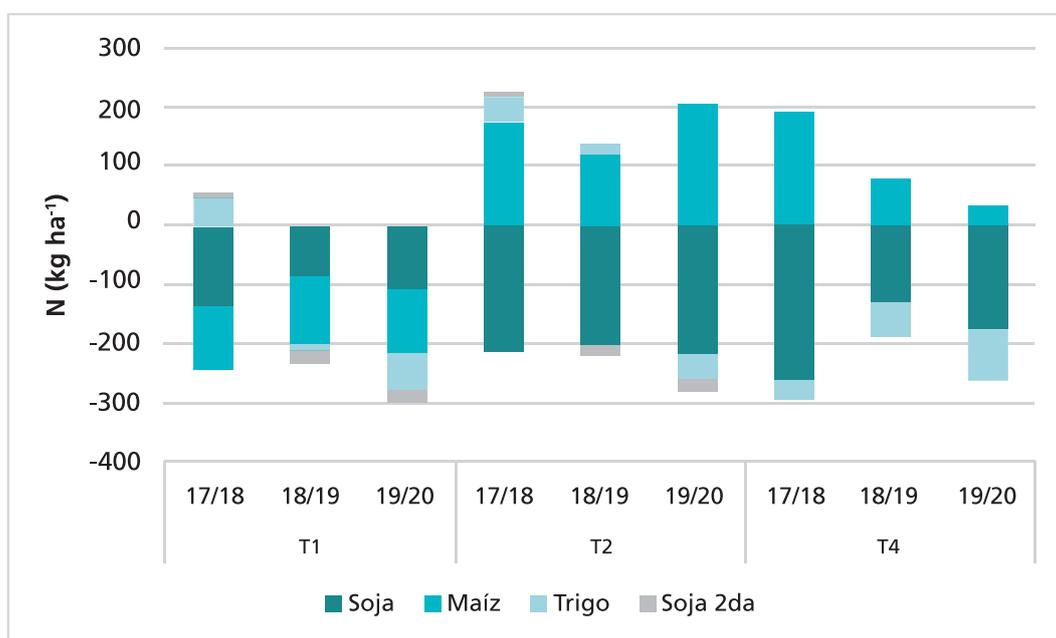


Figura 5: Balance de N (kg ha^{-1}) para todos los cultivos de los tres tratamientos en las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20.

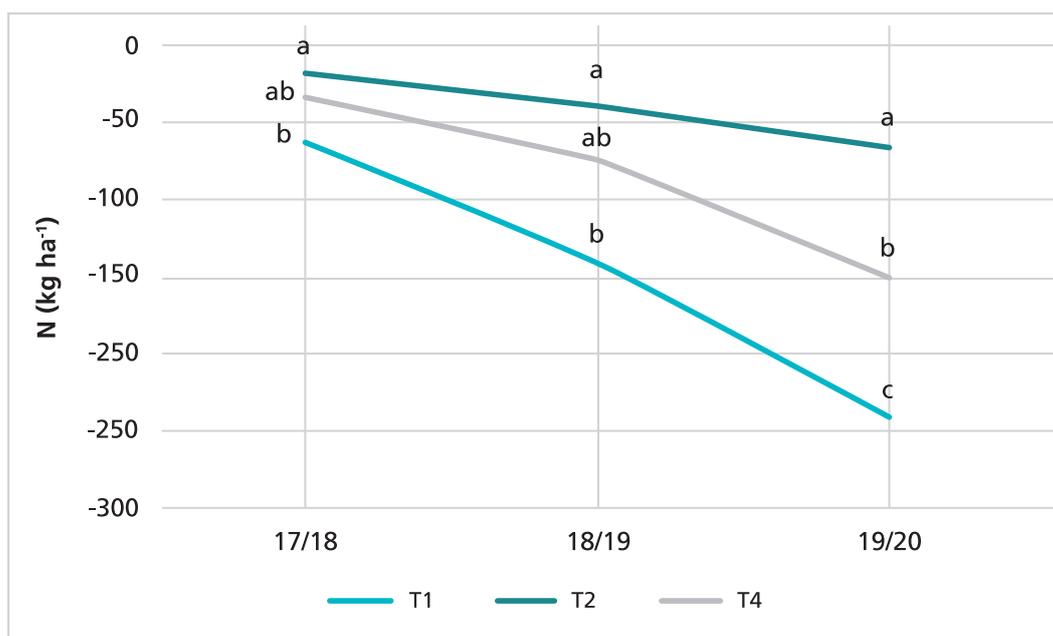


Figura 6: Balance de N (kg ha^{-1}) acumulado para las tres rotaciones consideradas (T1, T2 y T4) a través de las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20. Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos (test LSD, $p < 0,05$).

solo las leguminosas suman N, la extracción es menor por menores rendimientos de los cultivos. El T1 donde el ingreso de N al sistema es mayormente a través de fertilizantes inorgánicos, se encuentra en el extremo inferior, indicando que para los kg ha^{-1} cosechados se deben aplicar dosis superiores.

En el balance de P, donde sólo se contempla el aporte del fertilizante MAP en T1 y T2, los valores son favorables únicamente para el cultivo de trigo, aunque disminuye en las campañas que se obtuvieron rendimientos mayores (Figura 7). Fundamentalmente para la soja, las dosis utilizadas no cubren las cantidades

de P que se exportan del sistema en los granos. En tanto que, para el T4, al no recibir aportes externos de P, el balance es negativo en todos los casos. El desafío es encontrar fuentes orgánicas de fácil acceso en la zona y factible distribución en el lote, que agreguen nutrientes a este tratamiento, a los fines de mantener la premisa de no uso de insumos de origen inorgánico. En todos los tratamientos la acumulación del resultado de los balances de P tiende a disminuir con el paso de las campañas (Figura 8), en el T2 en menor medida que en el T1 debido al uso de fertilizante en la siembra del CC. En el T4, la situación se

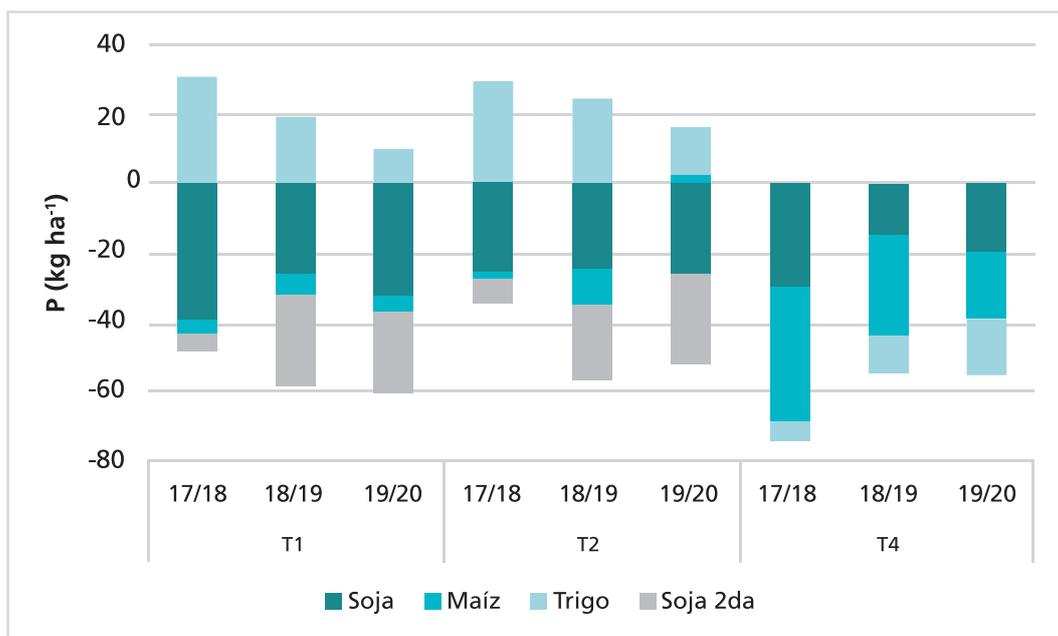


Figura 7: Balance de P (kg ha⁻¹) para todos los cultivos de los tres tratamientos en las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20.

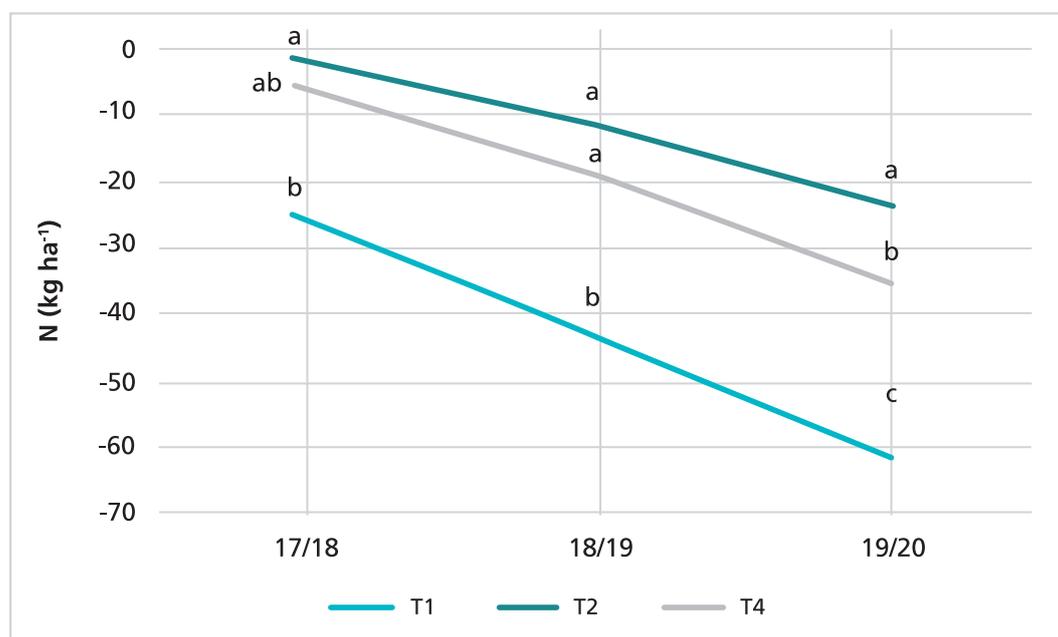


Figura 8: Balance de P (kg ha⁻¹) acumulado para las tres rotaciones consideradas (T1, T2 y T4) a través de las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20.

agrava por no contemplar ninguna fuente sea inorgánica u orgánica en la reposición del P exportado del sistema. Si bien es conocido que el pool de P inorgánico de los suelos es mayor y por lo tanto puede seguir abasteciendo a la fracción de P disponible para los cultivos, en el largo plazo el P total irá disminuyendo paulatinamente. Al convertir los kg ha⁻¹ de P y N que arroja el balance para cada cultivo en kg de fertilizante comercial y adjudicarle a esto el valor de mercado, se obtienen los u\$s ha⁻¹ que se pierden o ganan en las condiciones de conducción de los sistemas en estudio.

Considerando este valor en los márgenes brutos anteriormente expuestos, se observa que en todos los tratamientos los u\$s ha⁻¹ disminuyen, aunque en menor medida en el T2 (Figura 9). El mayor costo de producción por inclusión de CC en la rotación, y en algunos casos, la consecuente merma en los rendimientos por consumo de agua de los mismos, deviene en menor ingreso por unidad de superficie. Si bien es posible cuantificar, por ejemplo, el aporte de N que realiza la vicia como cobertura, existen otros beneficios que los CC brindan al sistema de difícil valoración en dólares.

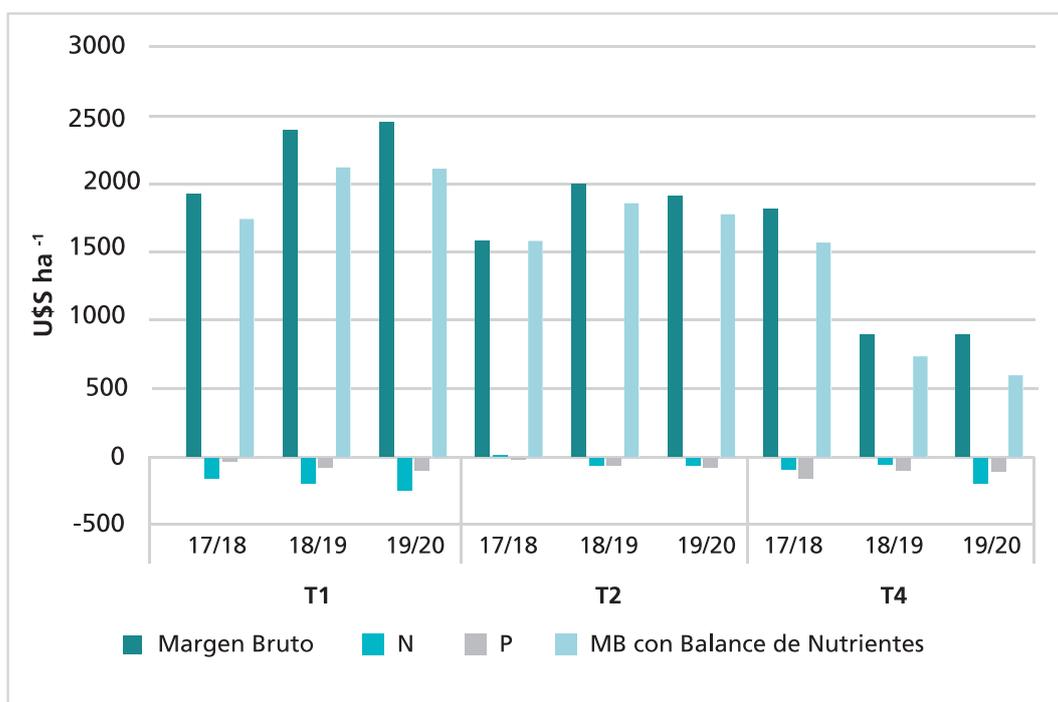


Figura 9: Sumatoria del margen bruto (u\$s ha⁻¹) para cada cultivo del T1, T2 y T4, en las 3 campañas evaluadas, en comparación con la suma del margen bruto de cada cultivo por tratamiento más el valor en u\$s arrojado por el balance de P y N correspondiente.

Malezas

El número de malezas acompañantes (NMA) en los muestreos de primavera del año 2017, fue similar para los tres tratamientos siendo en promedio de 13 individuos m^{-2} . En 2018, T1 y T2 tuvieron menores valores de NMA que T4, siendo en promedio de 10 individuos m^{-2} , y 120 individuos m^{-2} , respectivamente. En 2019, T1 y T2 tuvieron menores valores de NMA que T4, siendo en promedio de 20 individuos m^{-2} , y 287 individuos m^{-2} , respectivamente (Figura 10a). El NMA en los muestreos de otoño en 2017, fue similar para los tres tratamientos siendo en promedio de 36 individuos m^{-2} . En 2018 el NMA fue similar para todos los tratamientos, siendo en

promedio de 62 individuos m^{-2} . En 2019, T1 y T2 tuvieron menores valores de NMA que T4, siendo en promedio de 9 individuos m^{-2} , y 70 individuos m^{-2} , respectivamente (Figura 10b).

La materia seca aérea (MSA) en la primavera de 2017 fue similar para los tres tratamientos, con un valor medio de 4 g m^{-2} . En 2018, T1 y T2 tuvieron menores valores de MSA que T4, siendo en promedio de 38 g m^{-2} y 122 g m^{-2} , respectivamente.

En 2019, T1 y T2 tuvieron menores valores de MSA que T4, siendo en promedio de 7 g m^{-2} , y 26 g m^{-2} , respectivamente (Figura 11a).

La MSA en otoño fue similar para los tres tratamientos en los años 2018 y 2019 con valores

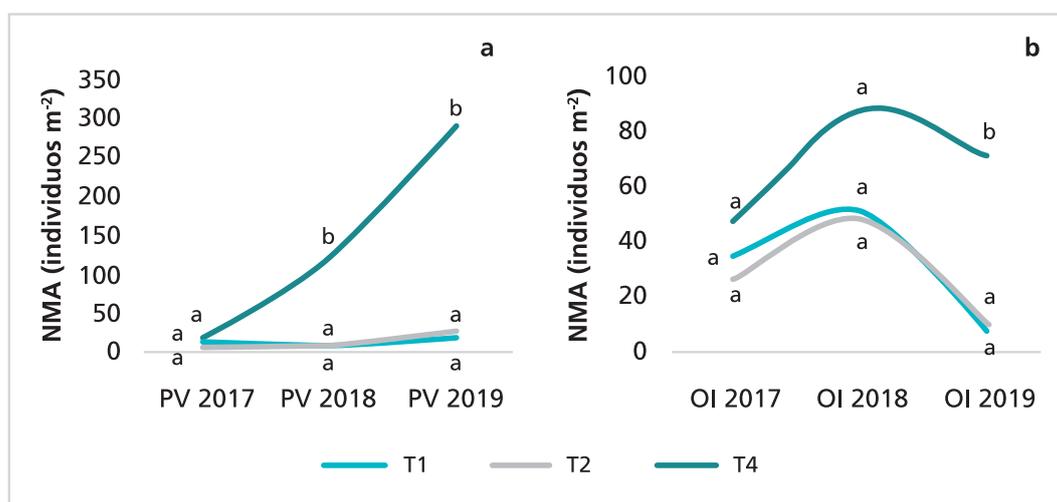


Figura 10: Número de malezas acompañantes (NMA, individuos m^{-2}) para los tratamientos evaluados. T1: maíz, soja, trigo/soja 2°; T2: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2°; y T4: vicia/maíz, centeno/soja, trigo, en el periodo 2017-2020. Letras diferentes indican diferencias significativas (test de Tuckey, $p < 0,05$).

medios de 19 g m⁻² y 20 g m⁻², respectivamente. En 2020 T2 y T4 no se diferenciaron estadísticamente, con un valor medio

de 107 g m⁻², tampoco hubo diferencias estadísticas entre T4 y T1, con un valor medio de 129 g m⁻² (Figura 11b).

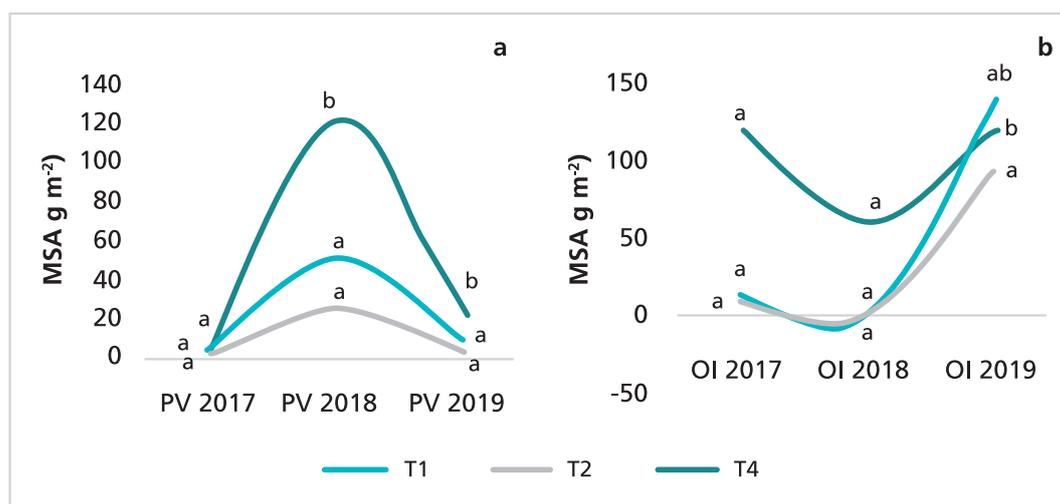


Figura 11: Materia seca aérea de malezas (MSA, g m⁻²) para los tratamientos evaluados. T1: maíz, soja, trigo/soja 2°; T2: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2°; y T4: vicia/maíz, centeno/soja, trigo, en el período 2017-2020. Letras diferentes indican diferencias significativas (test de Tuckey, p<= 0,05).

Analizando cada cultivo, la secuencia trigo/soja no mostró diferencias en T1 y T2, tanto en NMA (12 individuos m⁻²) como MSA (21 g m⁻²) y mayores valores para T4 de NMA y MSA (168 individuos m⁻² y 83 g m⁻², respectivamente). Esto pudo deberse, principalmente a la ausencia de soja de segunda en la secuencia. Para maíz, no se encontraron diferencias en NMA y MSA, con valores medios de 39 individuos

m⁻² y 23 g m⁻², respectivamente. Es interesante en este caso el aporte de la vicia como antecesor, particularmente en T4, ya que no se utilizan herbicidas. Para soja, no se observaron diferencias en los tres tratamientos en MSA, con un valor promedio de 61 g m⁻². El NMA fue diferente para T1 y T2 (19 individuos m⁻²) con respecto a T4 (79 individuos m⁻²) (Figura 12).

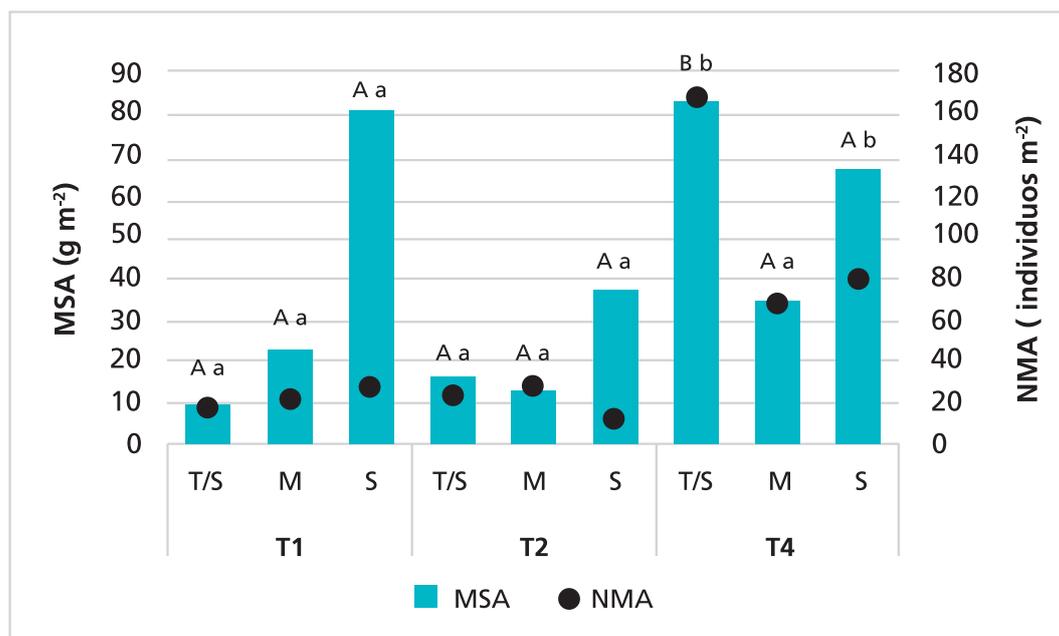


Figura 12: Biomasa aérea (MSA, barras) y número de malezas acompañantes (NMA, puntos) para los tratamientos evaluados. T1: maíz, soja, trigo/soja 2°; T2: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2°; y T4: vicia/maíz, centeno/soja, trigo. Letras diferentes indican diferencias significativas (test Tuckey, $p < 0,05$, minúsculas= N° individuos, mayúsculas=biomasa).

Índices de impacto ambiental

El Índice de Intensificación de la Secuencia (IIS) en las tres campañas evaluadas fue mayor en T2 con un valor medio de 0,92 que en T4 (0,78) y T1 (0,64) (Tabla 4). Los valores superiores en T2 y T4 se deben a la inclusión de los cultivos de cobertura en la rotación, mientras que la diferencia

Tabla 4: Índice de Intensificación de la Secuencia (IIS) para los tratamientos evaluados en las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20 y promedio de las 3 campañas.

	2017/18	2018/19	2019/20	Promedio
T1	0,68	0,67	0,57	0,64
T2	0,97	0,95	0,83	0,92
T4	0,82	0,82	0,69	0,78

entre los mismos se explica porque en el segundo no se realizó la siembra de soja de segunda. Comparando los dos tratamientos en los que se usaron agroquímicos, el EIQ_{total} fue mayor para T1 con un valor medio de 99, en comparación con T2 cuyo valor medio fue 63. Las diferencias estuvieron dadas principalmente por la no inclusión de herbicidas preemergentes en el cultivo de maíz en el T2.

Comparando $EIQ_{plaguicidas\ a\ campo}$ la mayoría de los plaguicidas utilizados se ubicaron en valores muy bajos y bajos según la clasificación de Stewart *et al.* (2011).

Atrazina en T1 para la campaña 2018/19 mostró un valor medio, y glifosato en ambos tratamien

tos y en las 3 campañas evalua- das acusó valores altos (Figura 13).

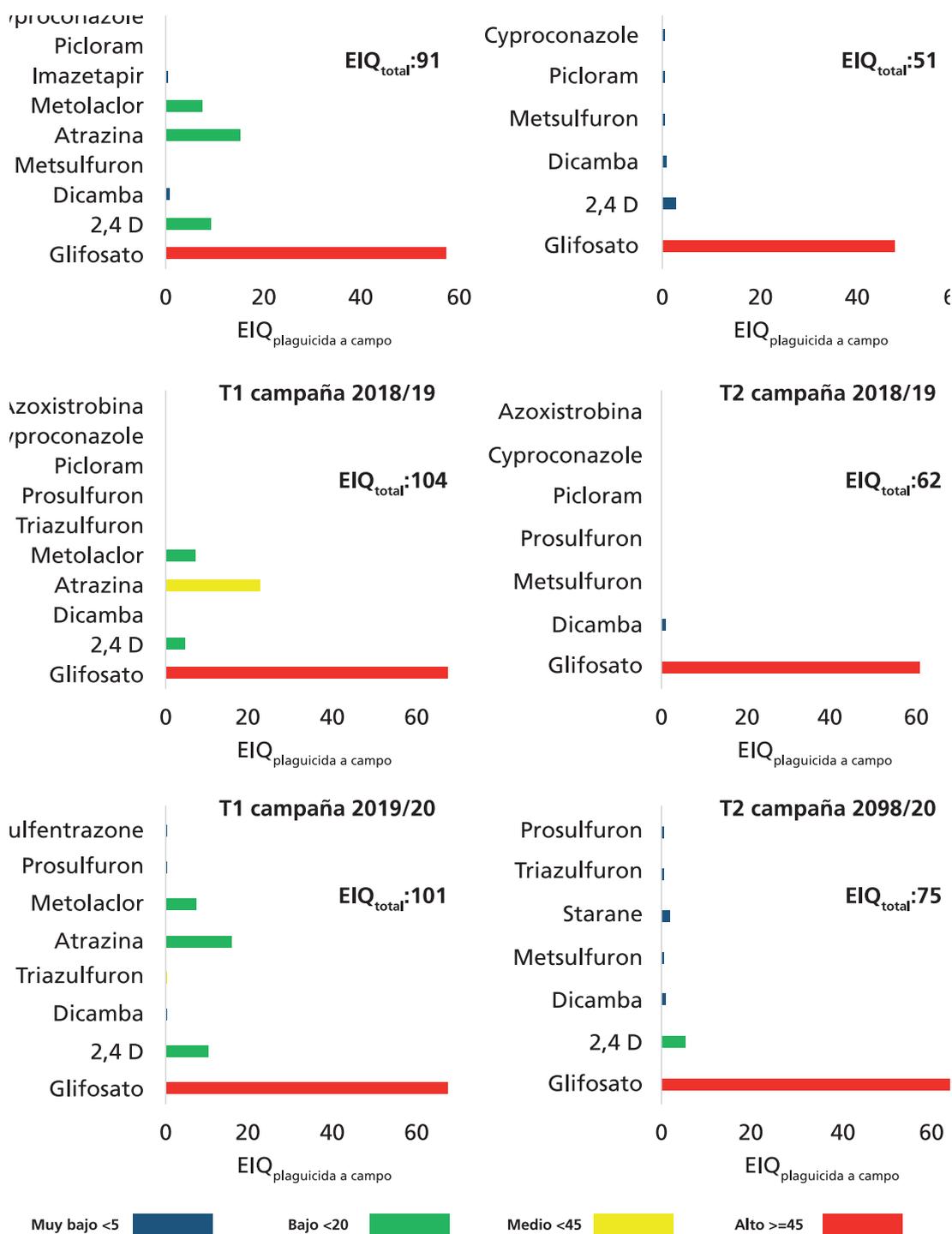


Figura 13: EIQ para cada plaguicida y total utilizado en los tratamientos T1 y T2 y para las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20.

Todos los cultivos que participaron en la rotación del tratamiento T2 presentaron valores de Índice de Riesgo Ambiental (IRA) que implican riesgo bajo, con un promedio de 8,5. Los cultivos que conforman la rotación de T1 presentaron valores de riesgo bajo, salvo los de maíz en las 3 campañas evaluadas y soja en la campaña 2019/20, los cuales presentaron valores de riesgo medio (6,6 promedio para maíz y 6,9 para soja) (Tabla 5). En el caso del cultivo de maíz en T1,

el riesgo aumenta principalmente por los herbicidas residuales utilizados en preemergencia del cultivo, mientras que en soja de la última campaña el riesgo aumenta debido al uso de sulfentrazone en preemergencia.

El mayor IIS en el tratamiento T2 a partir de la incorporación de cultivos de cobertura en la rotación bajó el uso de herbicidas preemergentes residuales principalmente en el cultivo de maíz, disminuyendo el impacto ambiental. Resultados similares

Tabla 5: Índice de riesgo ambiental (IRA), para cada cultivo de la rotación en los tratamientos T1 y T2 y para las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20.

		T1		T2	
		IRA	Riego	IRA	Riego
2017/18	Trigo	7,47	Bajo	7,47	Bajo
	Soja 2°	9,00	Bajo	9,00	Bajo
	Maíz	6,05	Medio	8,97	Bajo
	Soja	8,79	Bajo	9,00	Bajo
2018/19	Trigo	7,83	Bajo	7,83	Bajo
	Soja 2°	9,40	Bajo	9,40	Bajo
	Maíz	6,06	Medio	8,23	Bajo
	Soja	8,66	Bajo	9,00	Bajo
2019/20	Trigo	7,83	Bajo	7,83	Bajo
	Soja 2°	9,00	Bajo	9,00	Bajo
	Maíz	6,06	Medio	7,83	Bajo
	Soja	6,83	Medio	9,00	Bajo

fueron encontrados por Principiano & Acciaresi (2018) en el partido de Pergamino comparando secuencias de cultivos con diferente IIS. Sin embargo, en este ensayo el uso de cultivos de cobertura en la secuencia de rotaciones no disminuyó el uso de glifosato, mostrando valores altos de EIQ para este activo. Una de las alternativas para disminuir el uso de este insumo es buscar variantes para la finalización del ciclo de los cultivos de cobertura, por ejemplo, a partir del rolado mecánico. Baigorria *et al.* (2019), encontraron reducciones en el uso de herbicidas sin afectar el rendimiento del cultivo de soja. Debe tenerse en cuenta la importancia del momento de secado para evitar rebrotes posteriores tanto en centeno (Mirsky *et al.*, 2009) como en vicia villosa (Mischler *et al.*, 2010).

Los valores obtenidos de IRA en general representan en promedio un riesgo bajo para el ambiente, excepto por el cultivo de maíz en T1. Resultados similares fueron encontrados por Di Leo *et al.* (2013). En el cálculo del IRA, se deben considerar atributos tanto de suelo como de paisaje (Arregui *et al.*, 2009), por lo tanto, los valores obtenidos para diferentes secuencias de

cultivos van a variar con diferentes características edafoclimáticas (Montico y Di Leo, 2015).

Conclusiones

En la búsqueda de alternativas al sistema de producción agrícola predominante que sean competitivas desde los puntos de vista productivo y económico, pero que también den importancia al impacto de la acción del hombre sobre el ambiente, surgen algunas premisas interesantes.

La inclusión de CC en una rotación tradicional en el centro oeste bonaerense además de aportar mayor biodiversidad vegetal, permite disminuir el uso de herbicidas residuales desde el comienzo e ir disminuyendo las aplicaciones de otros químicos con el paso de las campañas, mejorando los índices de impacto ambiental por su colaboración en el control de malezas. El uso de especies leguminosas como CC mejora el balance de N principalmente, y todo esto se logra sin bajas significativas en los rendimientos alcanzables.

Cuando no utilizamos ningún agroquímico desde el inicio del planteo agrícola, la implantación de CC no es suficiente para controlar las malezas, aunque la secuencia vicia/maíz ha dado

resultados interesantes. En lo que respecta a nutrientes, es un desafío a futuro la utilización de insumos orgánicos disponibles en la zona para compensar la extracción por los granos. También se deben buscar estrategias de control de malezas con mínima o nula remoción de suelo en las secuencias a los fines de que sus niveles de abundancia no comprometan el rendimiento del cultivo.

Será importante continuar con este tipo de ensayos para seguir obteniendo información en el largo plazo de los parámetros evaluados y de nuevos indicadores que requieren varios años de estudio para poder observar diferencias entre los tratamientos evaluados.

Bibliografía

- Arregui, M. C., Sánchez, D. E., & Grenón, D. A. (2009). Tablero de comando sobre riesgo de contaminación ambiental por plaguicidas. Memorias. XXXVIII Jornadas Argentinas de Informática. Mar del Plata, BA, 24.
- Baigorriá, T., Alvarez, C., Cazorla, C., Bellucini, P., Aimetta, B., Pegoraro, V., ... & Tuesca, D. (2019). Impacto ambiental y rolado de cultivos de cobertura en producción de soja bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 37(2).
- Di Leo N., Bonel B. A. y Montico S. (2013). Estrategia para la racionalización del uso y manejo de fitosanitarios en espacios periurbanos. Actas VIII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Buenos Aires, Argentina. 29 de Octubre al 1 de Noviembre, 2013. CD-ROM.
- Eshenaur, B., Grant, J., Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. www.nysipm.cornell.edu/publications/EIQ. Environmental Impact Quotient: "A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides." New York State Integrated Pest Management Program, Cornell Cooperative Extension, Cornell University. 1992 – 2020.
- Fernández R. J., Rush P., Plencovich M. C. (2019). Agroecología y agricultura industrial: ¿dos culturas irreconciliables?. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 39 (2): 69-84.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*

139:1–8.

- Mirsky SB; WS Curran; DA Mortensen; MR Ryan & DL Shumway. 2009. Control of cereal rye with a roller/ crimper as influenced by cover crop phenology. *Agron J.* 101:1589–1596.
- Mischler RA; WS Curran; SW Duiker & JA Hyde. 2010. Use of a Rolled-rye Cover Crop for Weed Suppression in NoTill Soybeans. *Weed Sci.* 24:253–261.
- Montico, S., & Di Leo, N. (2015). Riesgo ambiental por pesticidas en una cuenca del sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(2), 165-172.
- Principiano, M. A., & Acciaresi, H. A. (2018). Diversidad e intensidad de secuencias de cultivos: efecto ambiental y económico del control químico de malezas. Ediciones INTA.
- Salvagiotti F., Collino D. J., Peticari A., Piccinetti C., Ovando G., Urquiaga S., y Racca R. W. (2015). El aporte de la fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja en Argentina.
- Van der Werf H. M. y Zimmer C. (1998). An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere* 36, 2225-2249.
- Vanzolini, J., Galantini, J., Agamennoni, R., Martinez, J. M., & Reinoso, O. (2010). Efectos del momento de secado de un cultivo de cobertura de *Vicia villosa* Roth. sobre su acumulación de biomasa y su contenido de N. In Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 22. 2010 05-06 31-04, 31 de mayo a 4 de junio de 2010. Rosario, Santa Fe. AR.