

DETERMINACIÓN DE LA ECOEFICIENCIA A PARTIR DE INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL POR LA UTILIZACIÓN DE PLAGUICIDAS EN SECUENCIAS DE CULTIVOS EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Trabajo Final de Grado
del alumno



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Junín, 16 de septiembre 2024

DETERMINACIÓN DE LA ECOEFICIENCIA A PARTIR DE INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL POR LA UTILIZACIÓN DE PLAGUICIDAS EN SECUENCIAS DE CULTIVOS EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Trabajo Final de Grado

del alumno

JOAQUIN GERARDI

Aprobada por el Tribunal Evaluador

Ana Laura Caprile
Evaluador/a

Agustina Marcellino
Evaluador/a

Francisco Fillat
Evaluador/a

PhD. Silvina M. Cabrini
Director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Junín, 16 de septiembre 2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido y apoyado tanto en la realización de este trabajo como en toda mi etapa universitaria.

En primer lugar, deseo agradecer a mi directora de tesis Silvina Cabrini, por su acompañamiento, paciencia y consejos durante todo el proyecto. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A Guillermo Cuitiño, el encargado del establecimiento La Lucila, por su excelente disposición y amabilidad al brindarnos los datos necesarios cada vez que los solicitamos. Su colaboración fue fundamental para el avance de este trabajo, y extendiendo mi gratitud al resto del equipo de trabajo, quienes también fueron de gran ayuda.

A mis padres y hermano por su apoyo incondicional, y por ser mi fuente de inspiración y motivación. Gracias por creer en mí, por brindarme las oportunidades necesarias para alcanzar mis metas y por recordarme siempre la importancia de ser perseverante.

Al resto de mi familia por brindarme siempre su cariño y estar siempre presentes cada vez que necesité algo.

A mis amigos y compañeros de estudio. Tengo la suerte de decir que formamos y funcionamos como un gran equipo a lo largo de estos años. Cuando las cosas no me salían de la mejor manera, fueron una parte muy importante de apoyo e inspiración para que haya llegado al final de esta etapa.

A la UNNOBA, por haberme dado la oportunidad de formarme, proporcionarme los recursos y el entorno adecuado para llevar a cabo esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte de este proceso, tanto desde el principio como las que se han ido sumando en el último tiempo. Lo más valioso que me llevo de esta etapa sin dudas son las personas, los amigos, los momentos vividos. Sin su ayuda y apoyo, este logro no habría sido posible.

Gracias a todos por formar parte de este hermoso viaje y por hacer posible la culminación de esta etapa tan importante en mi vida.

“Persevera, solo se fracasa cuando se deja de intentar.”

Joaquín Gerardi

INDICE

Resumen	6
Introducción	6
<i>Zona de estudio</i>	8
<i>Productos plaguicidas</i>	11
<i>Uso de productos fitosanitarios en el mundo y en Argentina</i>	12
<i>Toxicidad y riesgo</i>	14
Objetivo general	15
Objetivos específicos	15
Hipótesis	16
Materiales y métodos	16
Resultados	20
Discusión y conclusiones	30
Bibliografía	34

Figuras

Figura 1. Superficie implantada de soja en el partido de Pergamino para cinco campañas, desde 2018 hasta 2023.....	10
Figura 2. Superficie implantada de maíz en el partido de Pergamino para cinco campañas, desde 2018 hasta 2023.....	10
Figura 3. Superficie implantada de trigo en el partido de Pergamino para cinco campañas, desde 2018 hasta 2023.....	11
Figura 4. Distribución en porcentaje de los productos formulados registrados en SENASA según el tipo de plaga a controlar.....	13
Figura 5. Clasificación toxicológica aguda de los productos formulados registrados en la Argentina.....	15
Figura 6. Imágenes satelitales de lotes del establecimiento agropecuario, partido de Pergamino.....	17
Figura 7. Porcentaje de productos comerciales utilizados por grupo de plaguicida.....	20

Figura 8. Comparación de diferentes componentes del EIQ por tipo de producto.....	21
Figura 9. Valores de EIQ promedio según color de banda.	22
Figura 10. Rango de valores de EIQ/ha por cultivos para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento agropecuario, partido de Pergamino.	23
Figura 11. Rango de valores de EIQ por secuencia por lote para las campañas 2019/20 y 2020/21.....	24
Figura 12. Valores de EIQ promedio ponderado por secuencias de cultivos para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento La Lucila.....	25
Figura 13. Rango de valores de ecoeficiencia por cultivo por lote para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento La Lucila.	26
Figura 14. Valores de ecoeficiencia por secuencias de cultivos para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento La Lucila.	27
Figura 15. Correlación entre los indicadores de uso de suelo y del nivel de riesgo del uso de plaguicidas.....	28

Tablas

Tabla 1. Criterios de clasificación y etiquetado de productos fitosanitarios de acuerdo a la Resolución N° 302/2012 de SENASA. Toxicidad aguda oral y dermal.....	14
Tabla 2. Secuencias de cultivos e indicadores de diversificación e intensidad de uso de suelo.....	25

Resumen

En la región pampeana argentina, existe una preocupación creciente por los riesgos asociados al uso de plaguicidas en la producción agropecuaria. La producción agrícola extensiva en esta región depende en gran medida de estos productos, lo que ha impulsado el interés en monitorear y reducir el impacto de los mismos.

Este estudio analiza el uso de plaguicidas en distintas secuencias de cultivos del partido de Pergamino, en base a datos de su uso en un establecimiento del partido, para las campañas 2019/2020 y 2020/2021.

Para evaluar el riesgo de contaminación asociado al uso de plaguicidas, se calculó el coeficiente de impacto ambiental (EIQ) de cada paquete de plaguicidas por cultivo y lote, y se determinó la ecoeficiencia considerando la relación entre valor de la producción y el EIQ. Se caracterizaron las secuencias de cultivos en cada lote mediante indicadores del nivel de diversificación, la presencia de doble cultivos y el porcentaje de leguminosas. Se estudió la relación entre estas características, el EIQ y la ecoeficiencia.

Los resultados mostraron que, de los cultivos analizados, el maíz de semilla tuvo el mayor valor de EIQ, mientras que la cebada&vicia, maíz tardío y cebada tuvieron los valores menores. Con respecto a las secuencias de cultivos en dos campañas, la secuencia soja – trigo/soja 2da, tuvo el mayor EIQ promedio, en contraste con trigo/soja 2da – cebada&vicia/maíz tardío, que tuvo el menor valor. En términos de ecoeficiencia, el maíz tardío fue el más ecoeficiente, y las leguminosas arveja y soja 1ra, las menos ecoeficientes. La secuencia trigo/soja 2da – cebada&vicia/maíz tardío fue la más ecoeficiente, mientras que soja 1ra - arveja/soja 2da fue la menos ecoeficiente.

El estudio encontró una fuerte relación positiva entre el nivel de diversificación y la ecoeficiencia, sugiriendo que mayor diversificación mejora la ecoeficiencia. Además, un mayor porcentaje de leguminosas se asoció con menor ecoeficiencia. Estos resultados destacan la importancia de considerar las secuencias de rotación de cultivos al evaluar el impacto ambiental de uso de plaguicidas.

Introducción

En los últimos años ha cobrado relevancia el concepto de *intensificación sostenible (IS)* como el paradigma para evaluar la marcha de los sistemas productivos (Pretty *et al.*, 2018).

El desafío de llevar a la práctica el concepto de IS para monitorear y evaluar los procesos de intensificación sostenible ha sido un tema central en la agenda del Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR) (Aristide *et al.*, 2020). A partir de la identificación de elementos conceptuales y desafíos regionales comunes en Argentina, Brasil, Chile y Uruguay se define a la IS como *“La intensificación sostenible (IS) es un proceso de mejora gradual de la eficiencia ecológica de los sistemas agropecuarios a través de la innovación, con el fin de propender a una mayor productividad y rentabilidad con menor impacto ambiental, al mantenimiento y/o mejora de los recursos naturales, reduciendo la dependencia de insumos externos y favoreciendo la equidad y la inclusión social”* (Aristide *et al.*, 2020)

En el estudio de los impactos ambientales de la producción agropecuaria, un aspecto de importancia es la evaluación de los efectos del uso de plaguicidas en los ecosistemas, en las poblaciones rurales y en los consumidores de los alimentos (Pretty *et al.*, 2018; Ferraro *et al.*, 2020). Con más de 140.000 productos registrados, el desarrollo de plaguicidas es uno de los factores determinantes en el aumento de la producción de alimentos en la agricultura moderna. El uso de plaguicidas ha tenido un impacto positivo en la productividad agrícola, pero puede generar externalidades negativas, en particular cuando los productos no son utilizados correctamente, pudiendo afectar la salud humana y animal, a los insectos benéficos y a las comunidades microbianas (Andrade, 2016).

En la región pampeana argentina el riesgo de contaminación por el uso de plaguicidas se destaca como uno de los temas más sensibles, entre los problemas ambientales asociados a la producción agropecuaria pampeana (Cabrini *et al.*, 2018). La producción extensiva pampeana depende fuertemente del uso de plaguicidas, y se observa un interés entre los productores, por monitorear el nivel de riesgo por el uso de plaguicidas y por implementar sistemas de cultivo que contribuyan a reducirlo (e.g., Cano *et al.*, 2023). Ejemplos de prácticas que se han difundido en los últimos años para bajar el uso de plaguicidas son el control integrado de plagas, el monitoreo de lotes, y la inclusión de cultivos de cobertura en las rotaciones.

Para un seguimiento del uso de plaguicidas a nivel de establecimiento agropecuario es sumamente importante llevar un registro ordenado de las prácticas de manejo realizadas en cada una de las unidades productivas de los establecimientos agropecuarios y contar con indicadores que permitan monitorear el nivel de riesgo de los productos aplicados.

Varios indicadores se han propuesto para evaluar el nivel de riesgo asociado al uso de plaguicidas en un lote. Un indicador muy utilizado de actualización continua es el EIQ (Environmental Impact Quotient - Coeficiente de impacto ambiental), desarrollado por la Universidad de Cornell, New York, EE.UU; en el marco de un programa de manejo integrado de plagas. Este coeficiente promedia los valores de riesgo considerando tres componentes del sistema productivo: 1- Trabajador agrícola, 2- Consumidor y 3- Ecología (Kovach *et al.*, 1992). La relación entre el costo, en términos de impacto ambiental, y el beneficio de la aplicación de plaguicidas se puede evaluar mediante la ecoeficiencia. En términos generales la ecoeficiencia es la relación entre el valor económico de lo que se ha producido y el impacto ambiental asociado a esta producción. Varios trabajos han calculado la ecoeficiencia con respecto al uso de plaguicidas, considerando el impacto ambiental del uso de plaguicidas utilizando el EIQ (e.g., Nillesen *et al.*, 2006; Knox *et al.*, 2011; Stewart *et al.*, 2011; Cano *et al.*, 2020; Rao y Nagamani, 2013; Tallone y Cabrini, 2018).

Un estudio realizado con datos de manejo de campos de productores del partido de Pergamino para las cosechas 2010 a 2012 (Tallone y Cabrini, 2018) indica que, dentro de los cultivos agrícolas, la soja es el cultivo menos ecoeficiente. Las autoras también indican que la inclusión de ganadería genera un aumento de la ecoeficiencia. Estudios más recientes realizados en ensayos a campo en norte de Buenos Aires muestran que las rotaciones con mayor cantidad y variedad de cultivos mostraron mejores valores de ecoeficiencia (Cano *et al.*, 2020).

Teniendo como objetivo una trayectoria de intensificación sostenible, es importante la realización de estudios que monitoreen los cambios en el nivel de riesgo y ecoeficiencia asociada al uso de plaguicidas en los sistemas de producción. Este trabajo se propone aportar información en tal sentido analizando el uso de plaguicidas en agricultura en base a registros reales de un caso de estudio en un establecimiento, ubicado cerca de la localidad de Urquiza, partido de Pergamino, norte de la provincia de Buenos Aires.

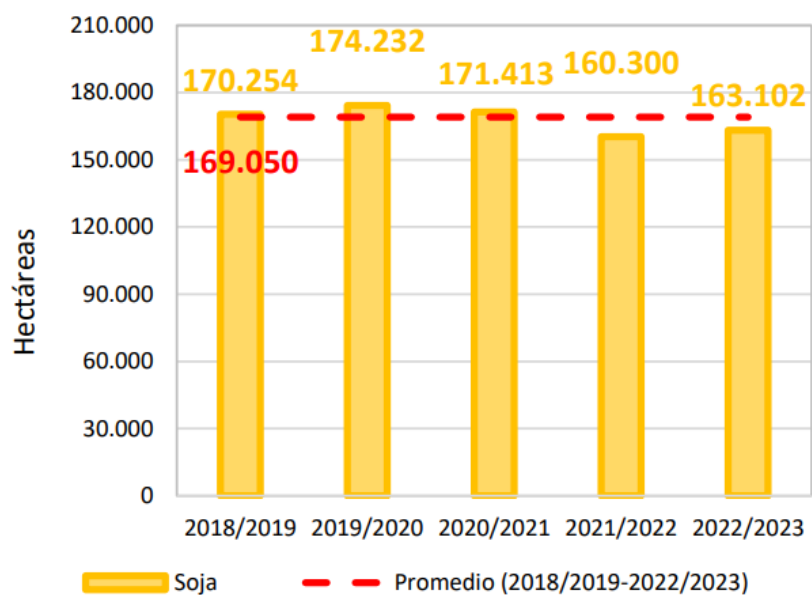
Zona de estudio

Para la realización del siguiente trabajo se obtuvieron datos de planteos técnicos y productividad de un establecimiento del partido de Pergamino, en el Norte de la Provincia de Buenos Aires. El partido de Pergamino posee una superficie de 299.178 hectáreas, y se

encuentra dentro de la llanura pampeana, en una fracción de la Pampa Ondulada. El aspecto físico del partido es una llanura con suaves ondulaciones y algunas depresiones motivadas por la existencia de lagunas y cañadas. Un porcentaje mayor al 95 % del área está dedicado a la actividad agropecuaria, lo cual se debe al elevado contenido de materia orgánica y a su capacidad de penetración en profundidad en el suelo (<https://pergamino.ar/ciudad/>).

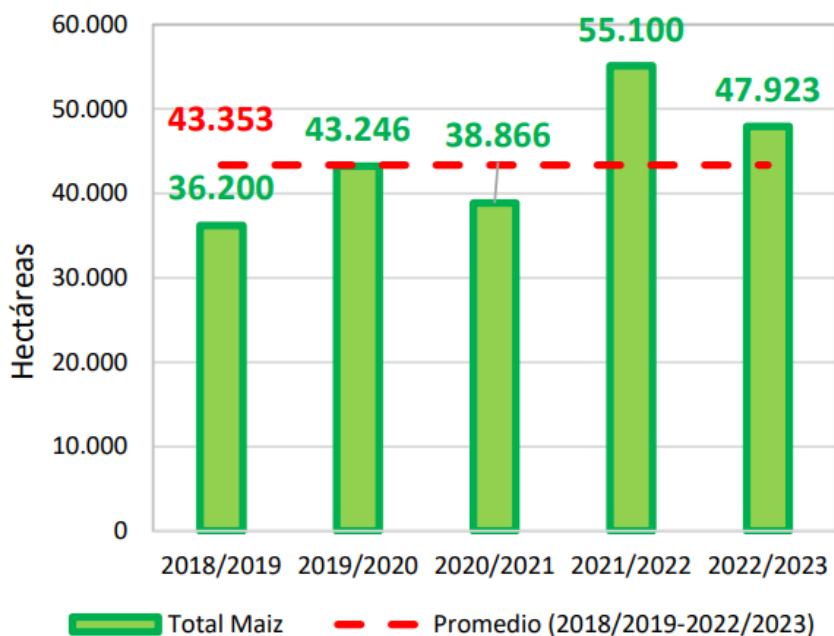
En esta zona se puede observar un predominio de tres cultivos anuales soja, maíz y trigo. En una proporción menor de lotes se puede encontrar la presencia de otros cultivos como alfalfa, arveja, avena, cebada, girasol, lotus tenuis, pasturas, rye grass, sorgo, vicia y campo natural (Portillo *et al.*, 2024). Existe heterogeneidad en las secuencias de cultivos y los planteos técnicos variando algunas cuestiones a la hora del manejo como puede ser la inclusión de cultivos de cobertura, o la utilización de distintas cantidades y tipos de insumos (Cano *et al.*, 2020).

El cultivo de soja es el cultivo extensivo con mayor superficie agrícola sembrada en la campaña 2022/23, representando alrededor de un 68% de esta superficie (Figura 1). El maíz por su parte para la campaña 2022/23 representó un 19% del suelo de uso agrícola del partido de Pergamino, manteniéndose un poco por encima del promedio de las últimas cinco campañas (Figura 2). El cultivo de trigo ocupa una superficie muy similar a la de maíz, representando aproximadamente un 19% de la superficie de uso agrícola de Pergamino, quedando por debajo del promedio en las últimas cinco campañas (Figura 3) (Fillat *et al.*, 2023).



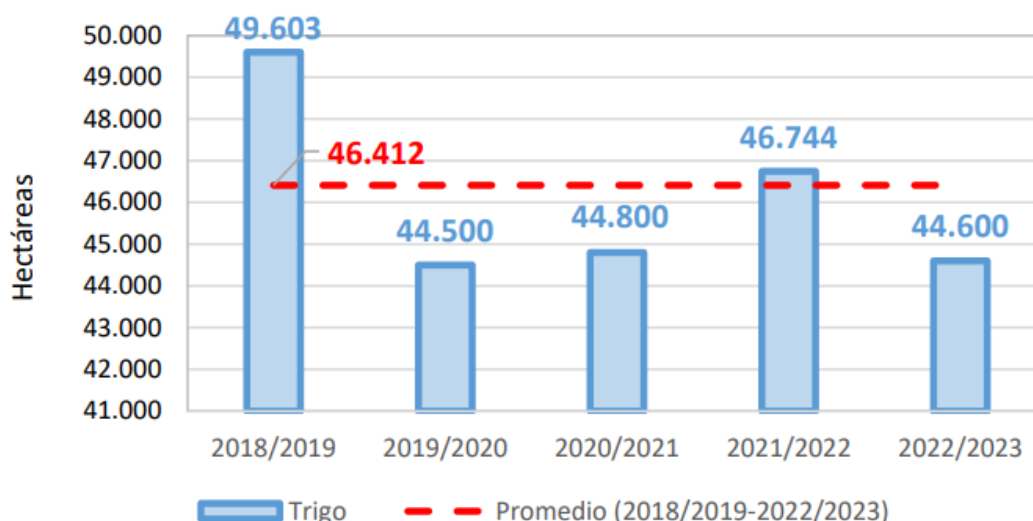
Fuente: Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Bioeconomía.

Figura 1. Superficie implantada de soja en el partido de Pergamino para cinco campañas, desde 2018 hasta 2023.



Fuente: Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Bioeconomía.

Figura 2. Superficie implantada de maíz en el partido de Pergamino para cinco campañas, desde 2018 hasta 2023.



Fuente: Estimaciones Agrícolas, Secretaría de Bioeconomía.

Figura 3. Superficie implantada de trigo en el partido de Pergamino para cinco campañas, desde 2018 hasta 2023.

En el partido de Pergamino, la agricultura se basa mayoritariamente en el uso de plaguicidas. Existe una reglamentación que establece la ampliación de medidas precautorias, suspendiendo provisionalmente las fumigaciones y pulverizaciones en toda la ciudad. Se fija un límite de exclusión de 1095 metros para aplicaciones terrestres y 3000 metros para aéreas, prohibiendo el uso de plaguicidas, herbicidas, insecticidas y otros agroquímicos. Además, se suspenden las autorizaciones para futuras aplicaciones en zonas urbanas y periurbanas, destacando la preocupación por la salud de la población (Ambiente rural Municipalidad de Pergamino, 2024).

Productos plaguicidas

Para el control de organismos que perjudican la producción vegetal se encuentran los plaguicidas, los cuales son tema de debate en el mundo desde la década de 1960, ya que, si bien aportan a la producción, existen reclamos por su impacto negativo por dejar residuos en el ambiente (suelo, agua, aire), afectando la salud humana, principalmente de las personas que tienen contacto directo y no cumplen con las normas de seguridad al utilizarlos, falta de capacitación para su correcto uso, etc. Por tal motivo ciertas instituciones

buscan constantemente estrategias de producción que reduzcan el uso de plaguicidas, en particular aquellos con mayores impactos negativos (Montoya *et al.*, 2023).

Un plaguicida es cualquier sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales, o que pueda administrarse a los animales para combatir ectoparásitos (FAO y WHO, 2015).

Las estrategias para el manejo de plagas ha sido siempre un tema de gran relevancia para la producción agropecuaria. Plaga agrícola es un término general para organismos que pueden causar enfermedades o daños a los cultivos (<https://www.fao.org/agrovoc/>), limitando la producción agrícola y poniéndola en riesgo (Peshin *et al.*, 2002; Oerke, 2006).

Uso de productos fitosanitarios en el mundo y en Argentina

Estados Unidos, la Unión Europea, China y Brasil son líderes globales en la producción agrícola, contribuyendo significativamente a más de la mitad de la producción mundial con altos rendimientos. En este contexto, los productos fitosanitarios son herramientas esenciales y altamente eficaces para asegurar dicha producción. Sin embargo, su utilización conlleva impactos externos que pueden afectar adversamente a organismos no objetivo, presentando una diversidad de magnitudes y alcances que deben ser considerados en la gestión agrícola (Donley, 2019).

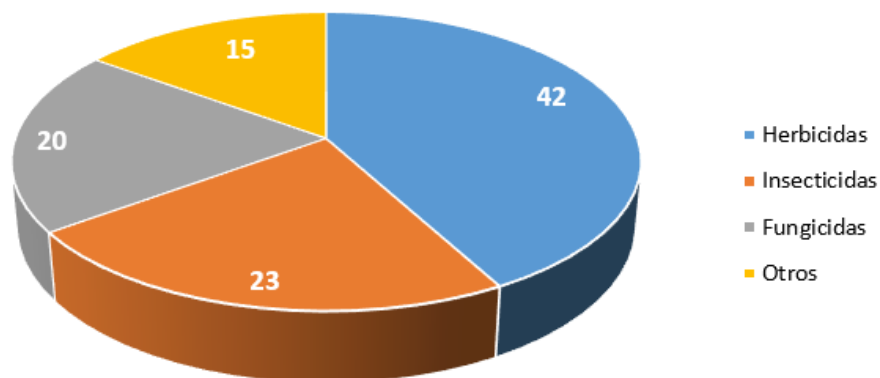
Argentina también es uno de los principales países que lidera la producción agrícola con una tendencia a concentrar la actividad vegetal en primavera-verano, mientras que en el resto del año se reduce, principalmente por el uso generalizado de herbicidas. Con el uso extendido de herbicidas de amplio espectro, como el glifosato, y cultivos genéticamente modificados para resistirlos, se ha logrado reducir drásticamente la actividad vegetal, especialmente en otoño, en comparación con períodos anteriores. Esta reducción ha llevado a una estacionalidad más marcada y sincrónica en grandes extensiones del terreno, con efectos notables en la diversidad de cultivos y hábitats naturales. El aumento en el uso de herbicidas, especialmente durante inviernos suaves que permiten el crecimiento de malezas durante los barbechos prolongados, ha generado preocupación. Aunque la concentración de glifosato y sus derivados ha disminuido en el ambiente, sigue siendo motivo de alarma y debate, impulsando la búsqueda de alternativas agrícolas más

sostenibles. Esta búsqueda incluye tanto el estudio de opciones de producción menos dependientes de herbicidas como la investigación de los impactos epidemiológicos y ambientales del glifosato. Integrar estos enfoques puede conducir al desarrollo de sistemas agrícolas más equilibrados y aceptables para la sociedad (Jobbágy *et al.*, 2020).

Nuestro país posee un gran consumo anual de productos fitosanitarios. En el año 2021 se utilizaron 321.104.664 litros o Kg de herbicidas y 52.716.173 litros o Kg de otros (Montoya *et al.*, 2023).

Se ha observado una tendencia creciente en el uso de productos fitosanitarios en Argentina, pasando de 151,3 millones de litros o Kg de productos comercializados en el año 2002, a 225 millones de litros o Kg en 2008, cerca de 317 millones en 2012 (CASAFE 2012), alcanzando actualmente 373 millones de litros o Kg (Cavallin *et al.*, 2017).

En el mercado argentino existen alrededor de 5387 productos formulados registrados en SENASA, siendo mayormente herbicidas (42%), luego insecticidas y fungicidas. El resto no superan el 15% (Figura 4) (Montoya *et al.*, 2023).



Fuente: Montoya *et al.*, 2023.

Figura 4. Distribución en porcentaje de los productos formulados registrados en SENASA según el tipo de plaga a controlar.

Toxicidad y riesgo

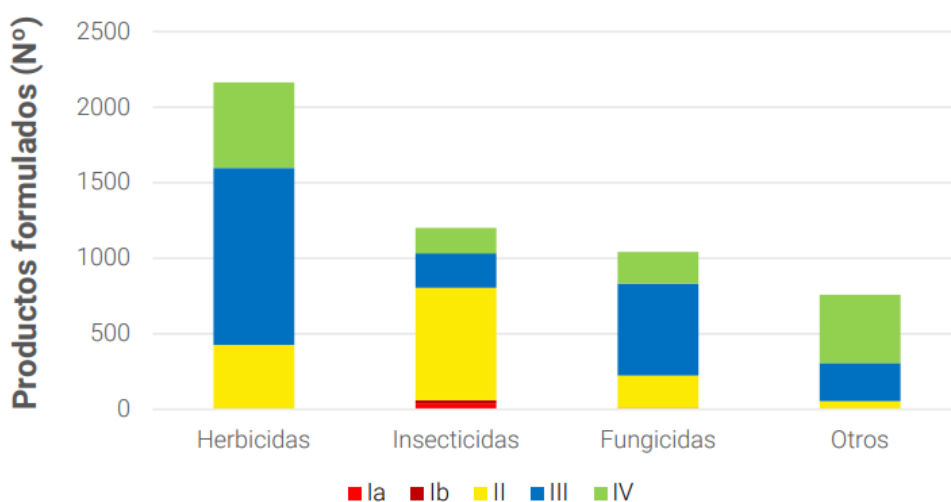
La toxicidad se define como la capacidad de una sustancia química de producir daños fisiológicos a un organismo vivo (SENASA, 2003).

En todos los fitosanitarios existe un peligro para el ser humano que puede ser inmediato o más o menos remoto causado por la toxicidad intrínseca que tienen esos productos. Los plaguicidas se clasifican según su toxicidad aguda, que se expresa en términos de Dosis Letal Media (DL50), la cual se define como la estimación estadística de la dosis mínima necesaria que resulta mortal para el 50% de una población de animales en condiciones controladas. Se expresa en mg de sustancia por kg de peso del animal (ratas, conejos, etc). Así puede extrapolarse a los humanos pudiendo definir una clasificación de peligrosidad por toxicidad aguda (Tabla 1 y Figura 5) (Montoya *et al.*, 2023).

Tabla 1. Criterios de clasificación y etiquetado de productos fitosanitarios de acuerdo a la Resolución N° 302/2012 de SENASA. Toxicidad aguda oral y dermal.

Fuente: Montoya *et al.*, 2023.

Clase toxicológica	Frase de advertencia	LD50 de ratas (mg/kg de peso vivo)	
		Oral	Dermal
Ia	Extremadamente peligroso	<5	<50
Ib	Altamente peligroso	5 a 50	50 - 200
II	Moderadamente peligroso	>50 a 2000	200 - 2000
III	Ligeramente peligroso	>2000 a 5000	>2000
IV	Productos que normalmente no presentan peligro de uso	>5000	>5000



Fuente: Montoya *et al.*, 2023.

Figura 5. Clasificación toxicológica aguda de los productos formulados registrados en la Argentina.

En cuanto al riesgo se refiere a la probabilidad de que ocurran efectos adversos a la salud o al ambiente resultante de la exposición a un producto fitosanitario (SENASA, 2003).

Objetivo general

Analizar el nivel de riesgo de impacto ambiental por el uso de plaguicidas y la ecoeficiencia, para distintas secuencias de cultivos del norte de la provincia de Buenos Aires, tomando como referencia un establecimiento ubicado en el partido de Pergamino.

Objetivos específicos

- Caracterizar el nivel de riesgo y la ecoeficiencia asociado al uso de plaguicidas para cada cultivo y secuencias de cultivos.
- Calcular indicadores de diversidad e intensidad de uso del suelo para cada secuencia de cultivos.
- Analizar la relación entre indicadores de usos del suelo y el nivel de riesgo asociado al uso de plaguicidas.

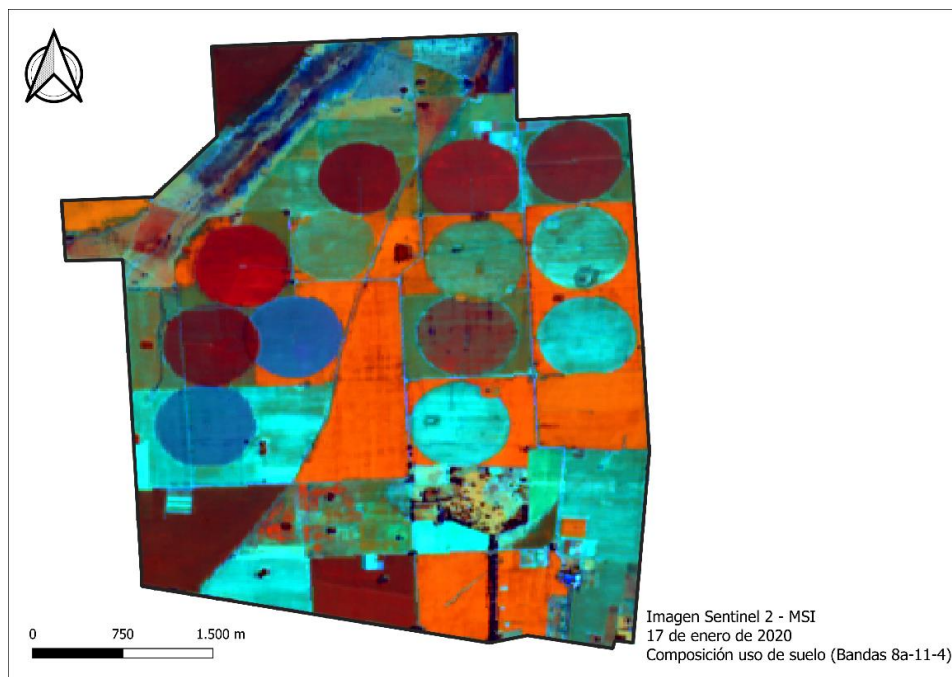
Hipótesis

En el establecimiento estudiado, las unidades de manejo más diversificadas y con mayor tiempo de ocupación del suelo, presentan mayores niveles de ecoeficiencia que aquellas en las que se producen únicamente cultivos de verano.

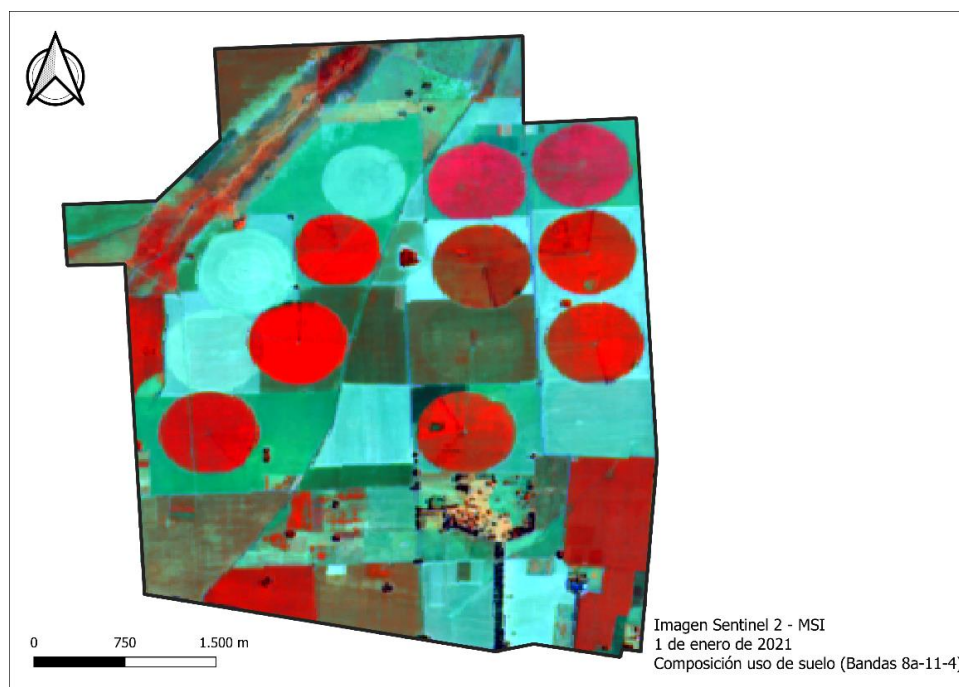
Materiales y métodos

Los datos para realizar este trabajo provienen de los registros del establecimiento La Lucila (33° 55' 27.62" S, 60° 23' 53.17" O) alquilado y manejado por la empresa La Champa S.A, ubicado cerca de la localidad de Urquiza en el partido de Pergamino, norte de Buenos Aires. El establecimiento posee 2310 hectáreas. La Lucila cuenta con cinco dueños y La Champa S.A posee cuatro accionistas, hay uno de los dueños que no participa de la producción. El establecimiento cuenta con un responsable de producción que trabaja para La Champa S.A. Aparte de la producción de commodities en La Lucila se realizan otras actividades como producción de semillas (maíz, soja, trigo, forrajeras), ganadería bovina (invernada) con aproximadamente 600 animales en invierno y 200 animales en verano y un haras que técnicamente es un pensionado equino con aproximadamente 250 caballos. El establecimiento también cuenta con equipos de riego para ser utilizados en los casos necesarios, especialmente para la producción de semillas. Son socios de Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa) y del grupo CREA.

En las siguientes imágenes satelitales (Figura 6, panel A y panel B) se puede observar la distribución de lotes que conforman el establecimiento y la presencia o ausencia de cultivos estivales, de acuerdo con la fecha en que fueron tomadas las imágenes. En las imágenes de falso color utilizadas, la vegetación se presenta en distintos tonos de rojo, mientras que el suelo desnudo, el rastrojo o la vegetación en periodo de senescencia se muestran en colores azulados o verdosos. La coloración rojo-magenta indica la presencia de un cultivo vigoroso. La predominancia de un color anaranjado señala vegetación vigorosa en crecimiento. Además, se pueden identificar los círculos de riego.



Panel A: enero 2020



Panel B: enero 2021

Figura 6. Imágenes satelitales de lotes del establecimiento agropecuario, partido de Pergamino.

Se trabajó con los datos de manejo y nivel productivo de todos los lotes agrícolas (49 lotes) con diferentes secuencias de cultivos, en las campañas 2019/20 (2327 ha analizadas) y 2020/21 (2214 ha analizadas) (Anexo I). En base a los registros del establecimiento se calculó como indicador económico el valor de la producción.

Para caracterizar el riesgo de contaminación por el uso de plaguicidas, se calculó para cada cultivo en cada lote el EIQ mediante el uso de un calculador virtual (EIQ:<http://www.nysipm.cornell.edu/EIQCalc/input.php>) en la que se ingresan los datos obtenidos de los productos utilizados. El calculador utiliza la fórmula propuesta por Kovach *et al.* (1992) que considera tres componentes del sistema productivo: trabajador agrícola, consumidor y ecología. Para determinar el nivel de riesgo de un producto el trabajador agrícola considera la exposición al producto durante su aplicación mediante la toxicidad dermal y la exposición a largo plazo mediante la toxicidad crónica calculada en mamíferos. El segundo componente (consumidor) considera la exposición de la población al producto por la posible presencia de residuos en el suelo y en la planta y el efecto potencial de las aguas subterráneas. El tercer componente (ecología) incluye los efectos sobre la tierra y el agua, abarcando también a peces, aves y artrópodos benéficos. La fórmula se presenta de la siguiente manera:

$$\frac{\{C \times [(DT \times 5) + (DT \times P)] + [(C \times \frac{S+P}{2}) \times SY] + (L) + [(F \times R) + (D \times (\frac{S+P}{2}) \times 3) + (Z \times P \times 3) + (B \times P \times 5)]\}}{3}$$

C: toxicidad crónica, DT: toxicidad dermal, P: vida media en la superficie de la planta, S: vida media en el suelo, SY: sistematicidad, L: potencial de lixiviación, F: toxicidad en peces, D: toxicidad en aves, R: potencial pérdida en superficie, Z: toxicidad en abejas, B: toxicidad en artrópodos benéficos.

El calculador permite asignar un valor de riesgo de toxicidad a un principio activo, con determinada concentración. Luego se afecta este valor del calculador por la dosis aplicada para obtener el indicador de riesgo a campo.

Se calculó el EIQ de cada paquete de plaguicidas utilizados por hectárea en cada cultivo para cada una de las campañas. Posteriormente se prosiguió calculando el EIQ acumulado en cada secuencia de cultivos en cada lote para las dos campañas.

Luego, se calculó el valor de ecoeficiencia por cultivo, dividiendo el valor de la producción de cada lote por el EIQ acumulado de cada cultivo en cada lote. El valor de la producción se obtuvo de multiplicar el precio del cultivo por el rendimiento.

Finalmente, se calculó el valor de ecoeficiencia para cada secuencia de cultivos en las dos campañas, sumando los valores de EIQ y valor de la producción ponderados por la superficie de cada lote, para hacer un valor acumulado de EIQ y valor de la producción por secuencia de cultivos y así poder dividirlos para obtener el valor de ecoeficiencia promedio para cada secuencia de cultivos.

Los precios de los granos se tomaron de la Bolsa de Comercio de Rosario en el momento de cosecha para maíz trigo y soja (<https://www.bcr.com.ar/>) y de los informes diarios de AFA para el resto de los cultivos (<http://diario.afascl.coop/afaw/index.vsp>).

También se realizó un promedio ponderado por la superficie de cada lote para el EIQ por secuencias de cultivos y poder obtener un valor promedio de este indicador de impacto ambiental para cada secuencia de cultivos. Para dicho cálculo se tomó la sumatoria de todos los EIQ por secuencia y se dividió dicho valor por la superficie total en hectáreas que ocuparon las secuencias en todos los lotes multiplicada por dos, debido a que se toman las dos campañas. También se relacionó el índice de impacto ambiental con la clase toxicológica de los plaguicidas.

Las secuencias de cultivos se caracterizaron con un indicador de nivel de diversificación productiva para cada una de las secuencias, la cual se estimó mediante el índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH), el cual toma valores entre 0 y 10000 (Parkin y Loria, 2010). Se calcula como la sumatoria de los porcentajes al cuadrado de la superficie asignada a cada cultivo agrícola en cada año, donde el valor mayor corresponde al monocultivo y valores menores corresponden a mayores niveles de diversificación productiva. En la caracterización de la diversificación también se emplearon otros indicadores como número de cultivos que integraron cada secuencia, el porcentaje de doble cultivo en cada secuencia y el porcentaje de leguminosas respecto al total de cultivos en la secuencia. Finalmente, se realizó un análisis para examinar la correlación entre los indicadores de uso de suelo y el nivel de riesgo asociado al uso de plaguicidas.

Resultados

A partir de la información obtenida mediante los registros del establecimiento La Lucila, se obtuvo la lista de productos plaguicidas que fueron utilizados para las dos (2) campañas. Entre herbicidas, insecticidas y fungicidas se emplearon un total de 51 productos (Anexo II). La mayor variedad de productos aplicados correspondió a herbicidas, seguido por insecticidas y en menor medida fungicidas (Figura 7).

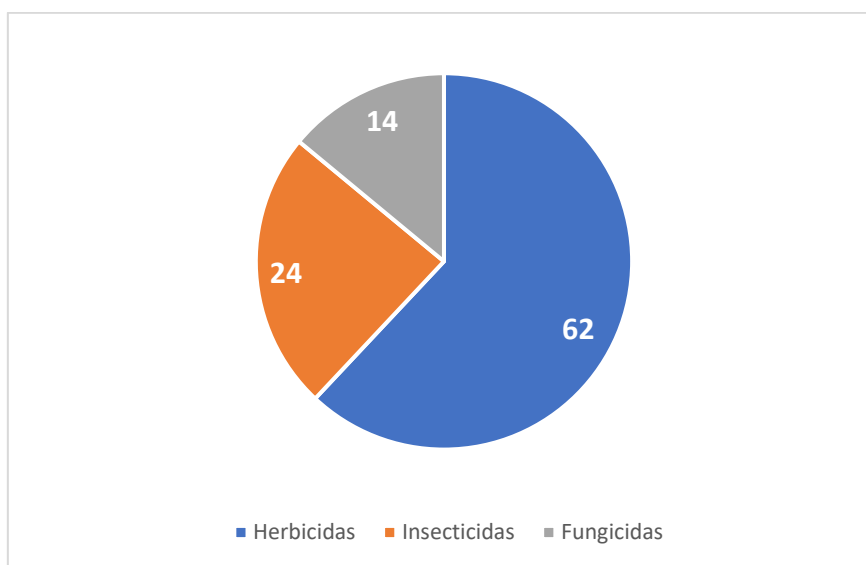


Figura 7. Porcentaje de productos comerciales utilizados por grupo de plaguicida.

En cuanto al EIQ por litro/kg de producto formulado, se pudieron observar valores muy variables desde 0,2 a 18,6. De los tres componentes del EIQ, el componente ecológico fue el que presentó mayores valores para los productos analizados, seguido por el EIQ del trabajador y el EIQ del consumidor. Estos últimos dos presentan rangos de valores similares. Se puede observar un rango de datos mayor en el EIQ ecológico, lo cual nos indica una mayor dispersión en los valores de EIQ. Comparando los tres tipos de productos se pudo observar valores de EIQ mayores en los herbicidas, seguido de los insecticidas y los fungicidas respectivamente. Cabe destacar que el número de productos comerciales de herbicidas utilizados fue mayor al del resto de los productos comerciales de insecticidas y fungicidas. En cuanto a las medianas se pudo observar valores mayores de EIQ Ecológico en los insecticidas (Figura 8).

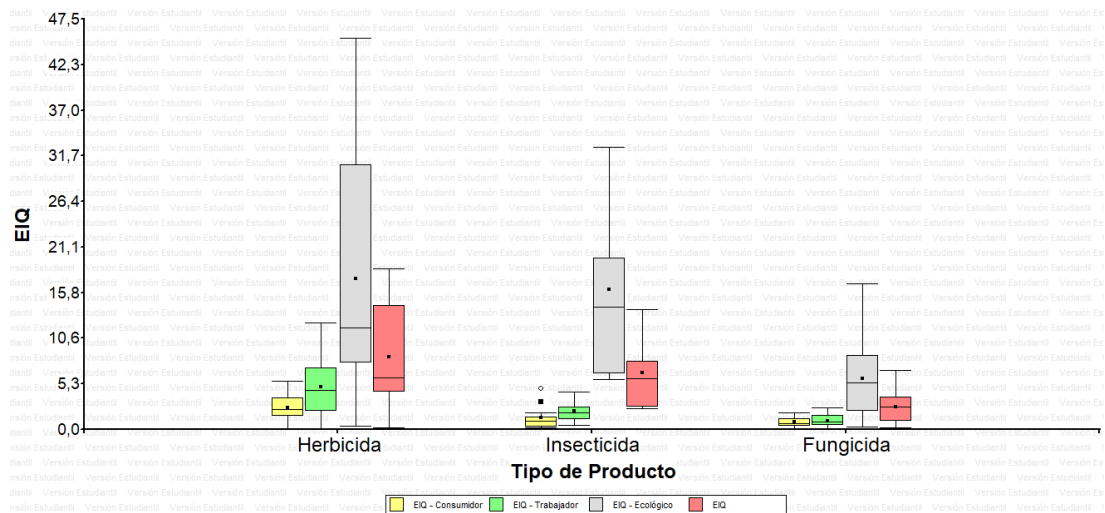
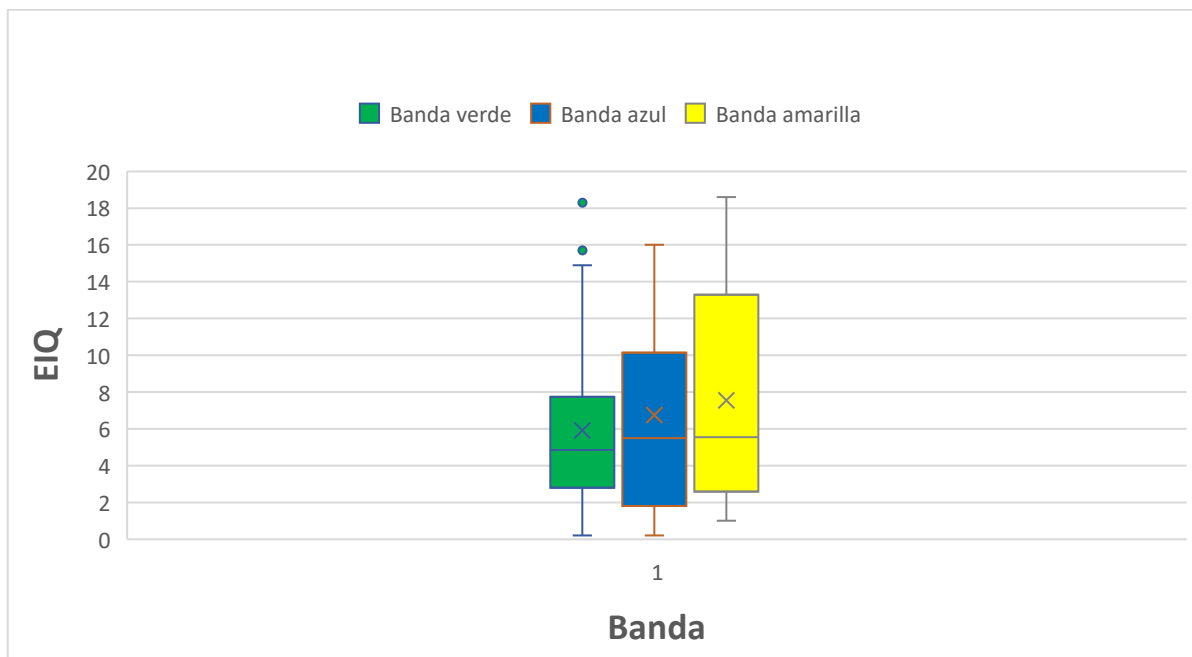


Figura 8. Comparación de diferentes componentes del EIQ por tipo de producto.

En cuanto a las clases toxicológicas de los plaguicidas no se utilizaron productos de mayor peligro como lo son las clases Ia y Ib (banda roja). Del total de plaguicidas (100%), se utilizaron productos clase II (banda amarilla, 27,45%), clase III (banda azul, 35,3%) y clase IV (banda verde 37,25%).

Respecto al color de banda los insecticidas presentaron una situación menos “amigable” siendo banda amarilla la mayor proporción de principios activos utilizados dentro de esta clase de productos. Los fungicidas presentaron una situación intermedia y los herbicidas fueron los de menor peligro, presentando una menor proporción de productos banda amarilla en su utilización, siendo igualmente el mayor número de principios activos utilizados clase toxicológica III (banda azul), seguidos por productos clase IV (banda verde) y en menor medida productos clase II (banda amarilla).

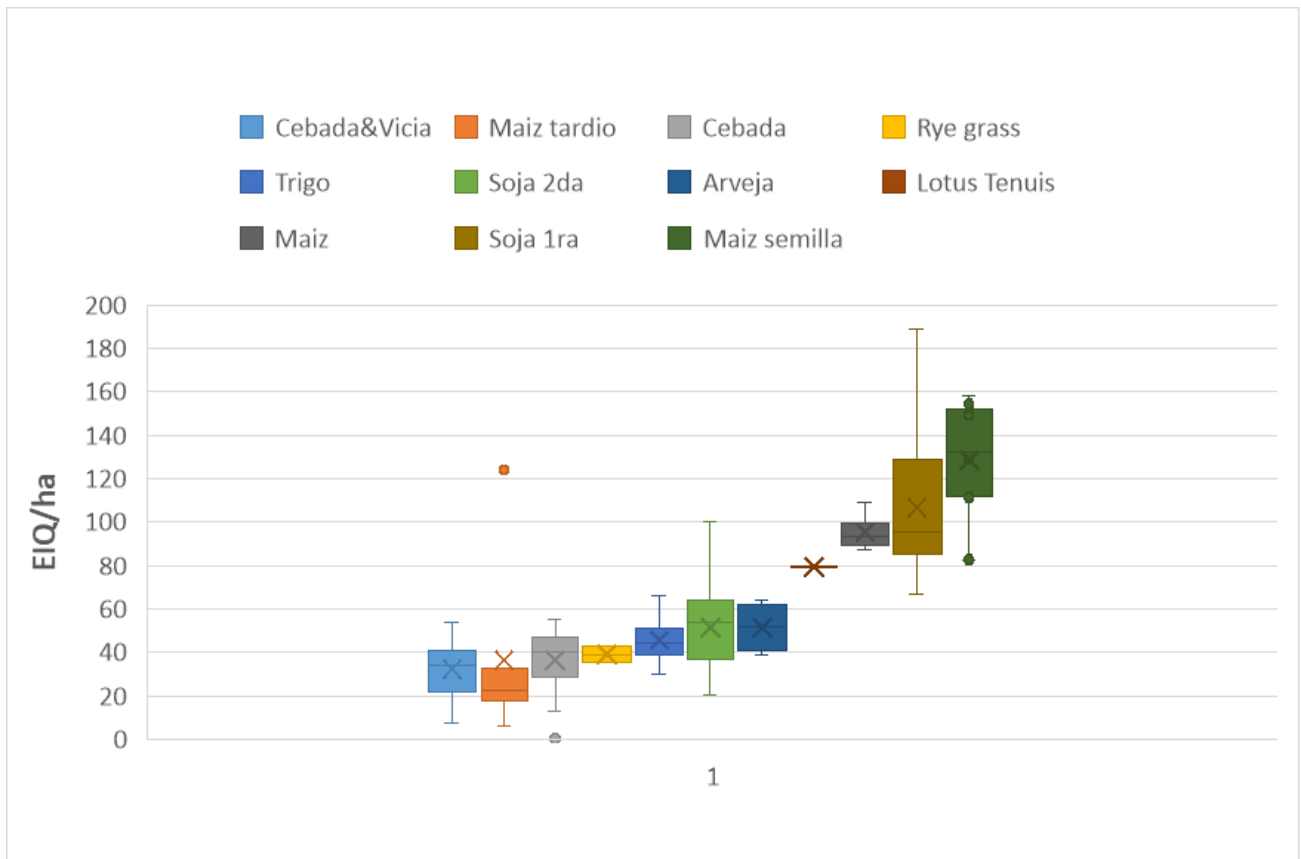
Se pudo observar que el promedio de productos banda verde poseen EIQ menores respecto a los de banda azul y banda amarilla. Para el cálculo de las bandas toxicológicas y el EIQ se usan casi los mismos parámetros por eso su correlación. En cuanto a la dispersión de valores se pudo ver que fue menor en los productos de color de banda más “amigable”, presentando solo algunos pocos valores atípicos más elevados. Los productos de mayor peligrosidad según el color de banda fueron los que mayor dispersión de valores presentaron, mayor media y mayor valor máximo de EIQ promedio (Figura 9).



Nota: Valores extremos banda verde: Atrazina (18,3,) y Fluroxipyr (15,7).

Figura 9. Valores de EIQ promedio según color de banda.

En relación con los plaguicidas utilizados en los diferentes cultivos del establecimiento, se observó que el maíz de semilla presentó el mayor valor medio de EIQ por hectárea, en contraste con los cultivos de cebada&vicia, maíz tardío y cebada, que mostraron valores medios significativamente menores. Los demás cultivos se situaron en valores intermedios respecto a los mencionados. Comparando la soja 1ra con la soja 2da, se observaron valores medios de EIQ más altos en la soja 1ra. Además, se constató que los valores máximos promedio de EIQ correspondieron a los cultivos de verano, mientras que los cultivos de invierno, exceptuando el maíz tardío, presentaron valores promedio de EIQ más bajos. En términos de EIQ por hectárea, la relación entre el maíz y la soja varía: en algunos casos, la soja presenta mayor toxicidad que el maíz, y en otros, ocurre lo contrario (Figura 10).



Nota: los valores extremos observados en maíz tardío (124,03) y en cebada (0,34) se deben, en el primer caso a que el lote viene de un barbecho muy largo, en el cual se realizaron muchas aplicaciones de herbicidas. Para el segundo caso, no se registraron aplicaciones de plaguicidas luego de la siembra del cultivo.

Figura 10. Rango de valores de EIQ/ha por cultivos para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento agropecuario, partido de Pergamino.

En el análisis del rango de valores de EIQ para las diferentes secuencias de dos campañas de cultivos, se observó que la secuencia compuesta por maíz semilla – soja presentó el mayor valor promedio de EIQ, junto con las secuencias de soja - trigo/soja 2da y maíz - soja, las cuales mostraron valores cercanos al promedio máximo. En contraste, la secuencia de trigo/soja 2da – cebada&vicia/maíz tardío, que es la más diversificada, presentó el valor promedio mínimo de EIQ entre todas las secuencias analizadas. La secuencia de maíz semilla-cebada/soja 2da mostró la mayor dispersión de valores de EIQ, con valores máximos cercanos al promedio más alto y valores mínimos cercanos al promedio más bajo de las secuencias mencionadas (Figura 11).

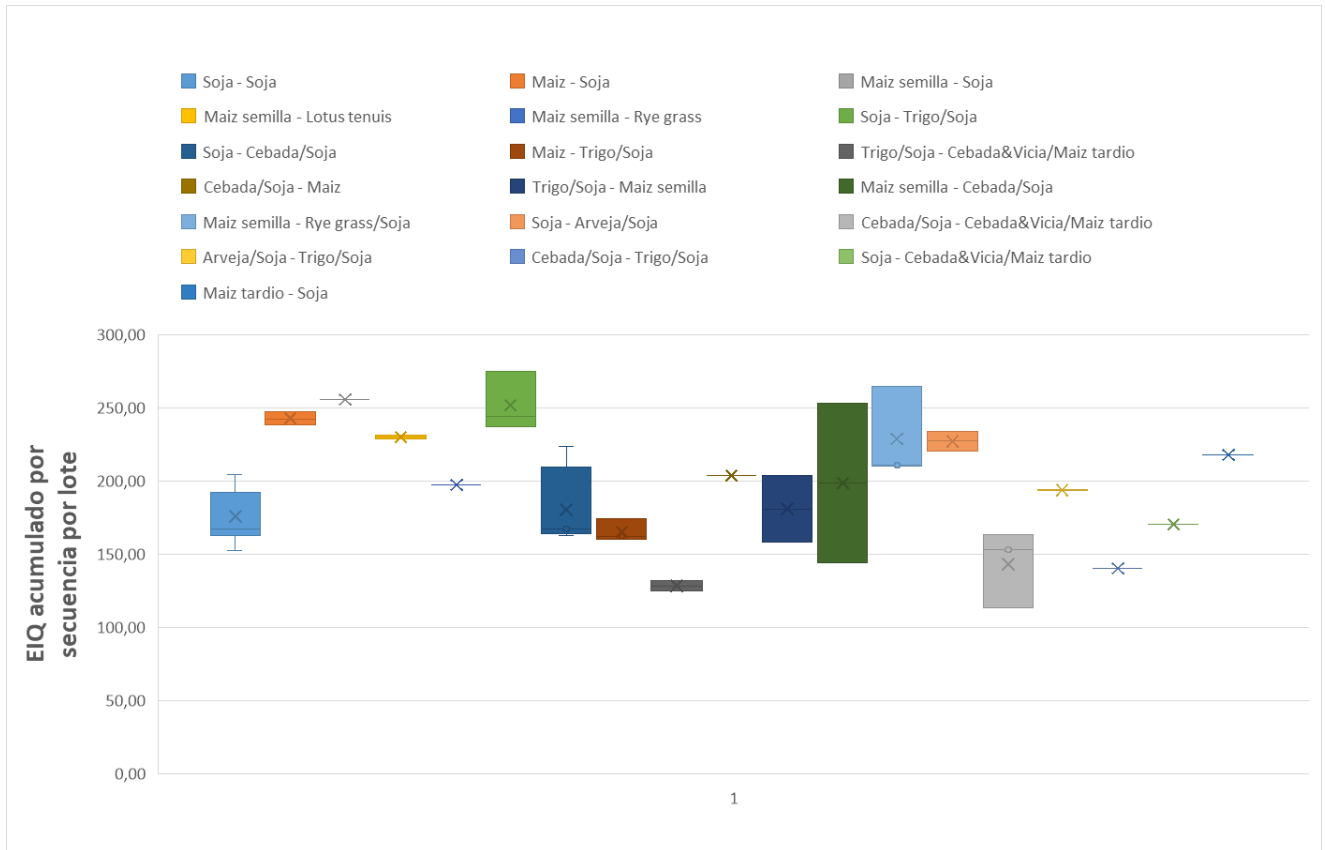


Figura 11. Rango de valores de EIQ por secuencia por lote para las campañas 2019/20 y 2020/21.

Respecto al EIQ por secuencias de cultivos, se realizó un promedio ponderado por superficie ocupada de los valores de EIQ utilizados en cada una de las secuencias analizadas en este trabajo. Se observó que la secuencia de soja – trigo/soja 2da presentó los mayores valores del indicador de impacto ambiental, seguida de las secuencias maíz semilla – soja y maíz – soja. En contraste, las secuencias con los menores promedios de impacto ambiental fueron algunas de las más diversificadas, específicamente las secuencias trigo/soja 2da – cebada&vicia/maíz tardío, cebada/soja 2da – trigo/soja 2da y cebada/soja 2da – cebada&vicia/maíz tardío (Figura 12).

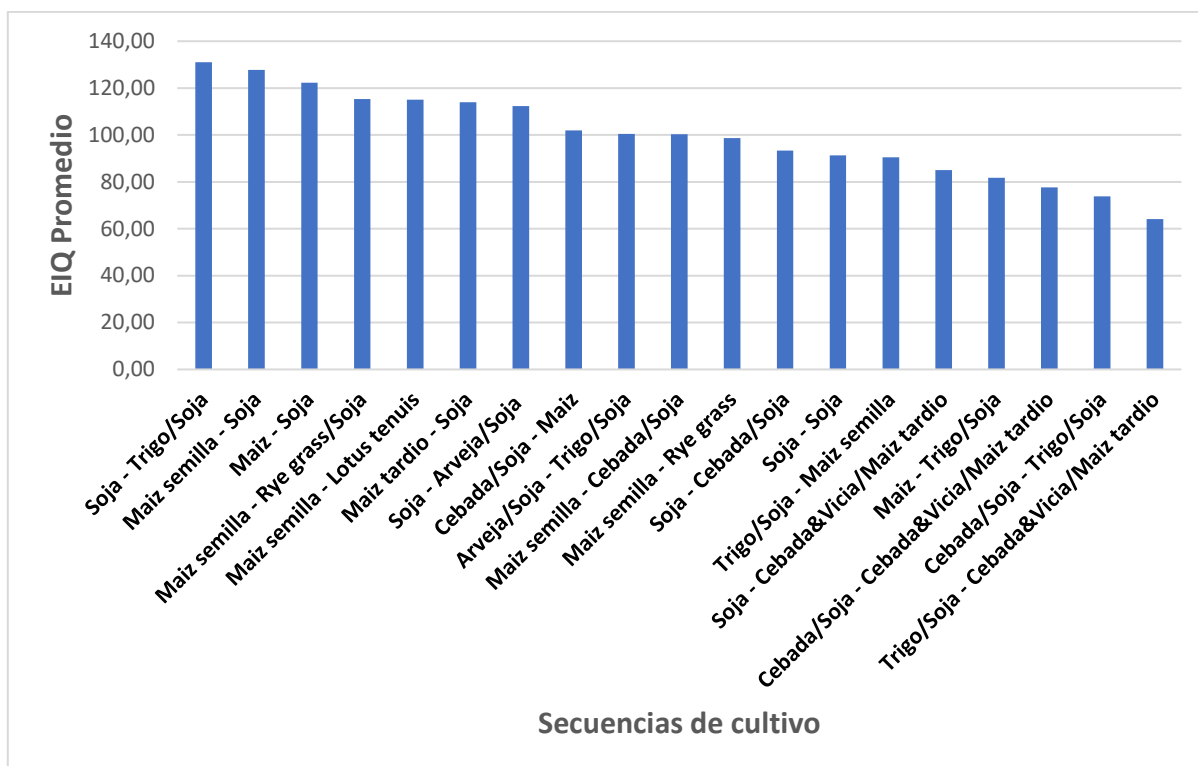


Figura 12. Valores de EIQ promedio ponderado por secuencias de cultivos para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento La Lucila.

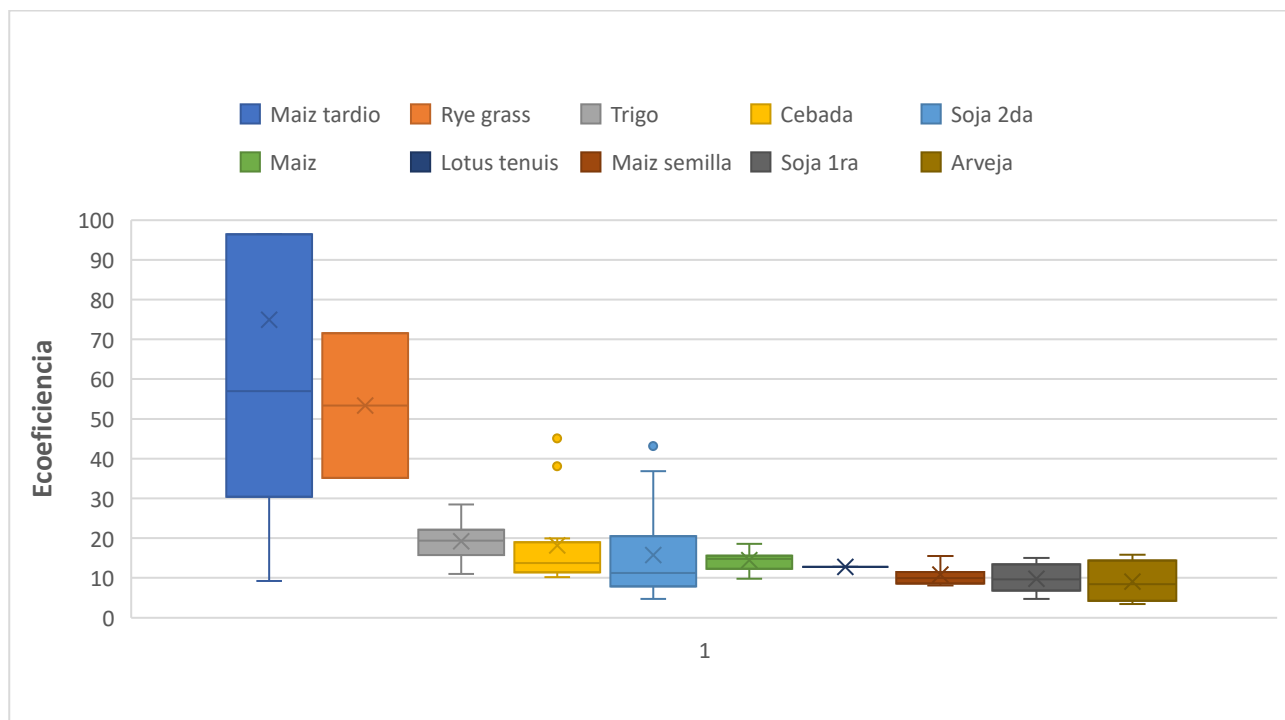
Comparando la diversificación de las diferentes secuencias de cultivos mediante el índice de Herfindahl-Hirschman (HH) se pudo observar que, en su mayoría, cuanto más diversificada esta la secuencia (menor HH), menor es el EIQ promedio (Tabla 2).

Tabla 2. Secuencias de cultivos e indicadores de diversificación e intensidad de uso de suelo.

Secuencia	Numero de cultivos	% doble cultivos	% de leguminosas	HH	EIQ promedio ponderado
Soja - Soja	2	0	1,00	10000	91,26
Soja - Trigo/Soja	3	50	0,67	6250	131,06
Soja - Arveja/Soja	3	50	1,00	6250	112,34
Soja - Cebada/Soja	3	50	0,67	6250	93,33
Maiz semilla - Soja	2	0	0,50	5000	127,78
Maiz - Soja	2	0	0,50	5000	122,26
Maiz semilla - Lotus tenuis	2	0	0,50	5000	115,09
Maiz tardio - Soja	2	0	0,50	5000	114,00
Maiz semilla - Rye grass	2	0	0,00	5000	98,66
Maiz semilla - Rye grass/Soja	3	50	0,33	3750	115,39
Cebada/Soja - Maiz	3	50	0,75	3750	101,98
Arveja/Soja - Trigo/Soja	4	100	0,33	3750	100,42
Maiz semilla - Cebada/Soja	3	50	0,33	3750	100,34
Trigo/Soja - Maiz semilla	3	50	0,33	3750	90,53
Maiz - Trigo/Soja	3	50	0,50	3750	81,69
Cebada/Soja - Trigo/Soja	4	100	0,33	3750	73,88
Soja - Cebada&Vicia/Maiz tardio	4	50	0,50	3437,5	85,07
Cebada/Soja - Cebada&Vicia/Maiz tardio	5	100	0,40	2187,5	77,69
Trigo/Soja - Cebada&Vicia/Maiz tardio	5	100	0,40	2187,5	64,12

Nota: las secuencias se encuentran ordenadas de menor a mayor diversificación de acuerdo al índice de Herfindahl-Hirschman (HH).

Al momento de calcular y observar la ecoeficiencia por cultivo y por lote, se pudo ver que el cultivo con promedio más ecoeficiente fue el maíz tardío, seguido por el rye grass. Caso opuesto ocurrió con las leguminosas arveja y soja 1ra, las cuales fueron los cultivos menos ecoeficientes. En los dos cultivos más ecoeficientes también se pudo observar la mayor dispersión de datos relacionándose con mayores variaciones en valores de EIQ y valor de la producción (Figura 13).



Nota: para el cultivo de cebada hay un lote con un valor que es igual a 1629,43 (solo dos aplicaciones de plaguicidas y de muy bajo EIQ) que no fue incluido en el gráfico para poder observar de mejor manera la diferencia entre los cultivos. Para los valores 38 (solo se realizó una aplicación de un solo producto, glifosato) y 45 (no se usó glifosato. Pocos productos de mediano o bajo EIQ). Maíz tardío, dos valores extremos iguales a 9,21 (elevado EIQ, barbecho largo con productos de elevado EIQ) y 211,68 (bajo EIQ, pocos productos utilizados y CC antecesor).

Figura 13. Rango de valores de ecoeficiencia por cultivo por lote para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento La Lucila.

Al calcular la ecoeficiencia por secuencias de cultivos, se observó que las secuencias integradas por trigo/soja 2da-cebada&vicia/maíz tardío y maíz semilla-rye grass fueron las más ecoeficientes. La primera secuencia fue una de las más diversificadas. En la segunda

secuencia, la elevada ecoeficiencia puede explicarse por el bajo valor de EIQ del rye grass. En contraste, la secuencia menos ecoeficiente fue la compuesta exclusivamente por leguminosas, soja - arveja/soja 2da, seguida por las secuencias maíz semilla - soja y maíz tardío - soja, que se encuentran entre las secuencias menos diversificadas (Figura 14).

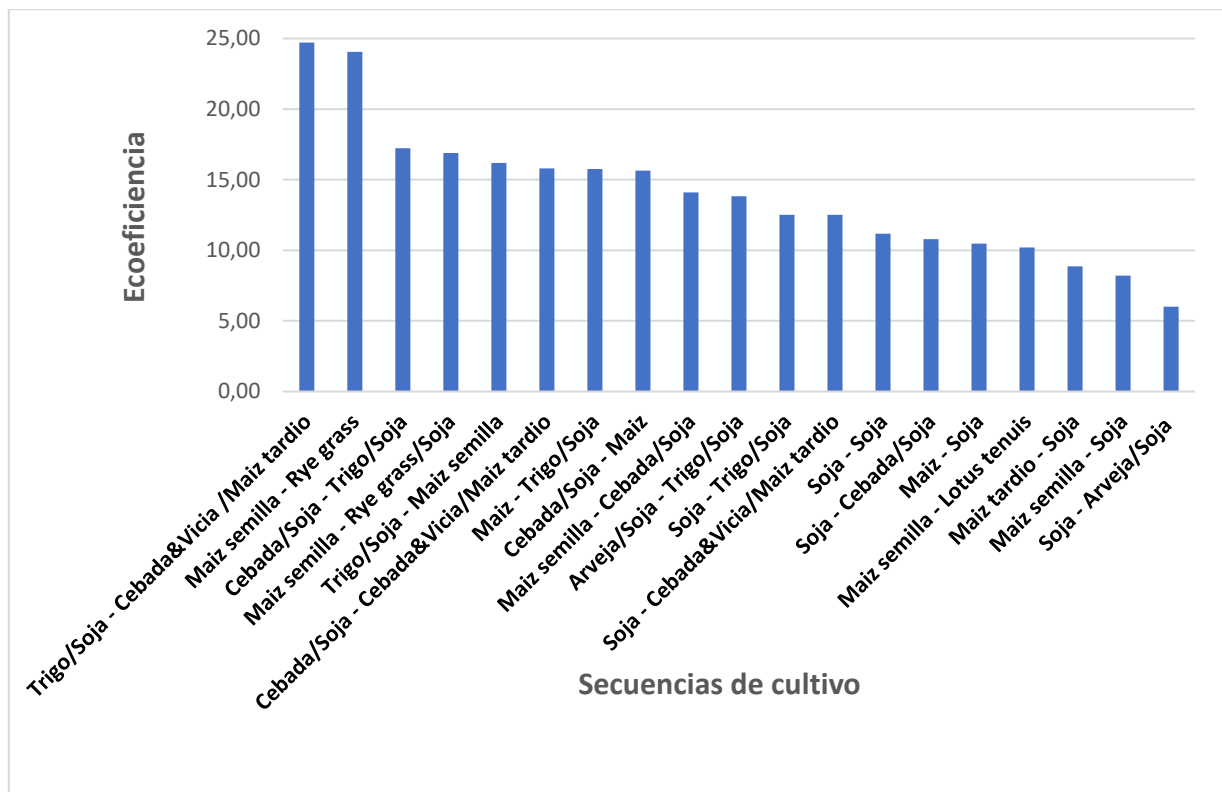
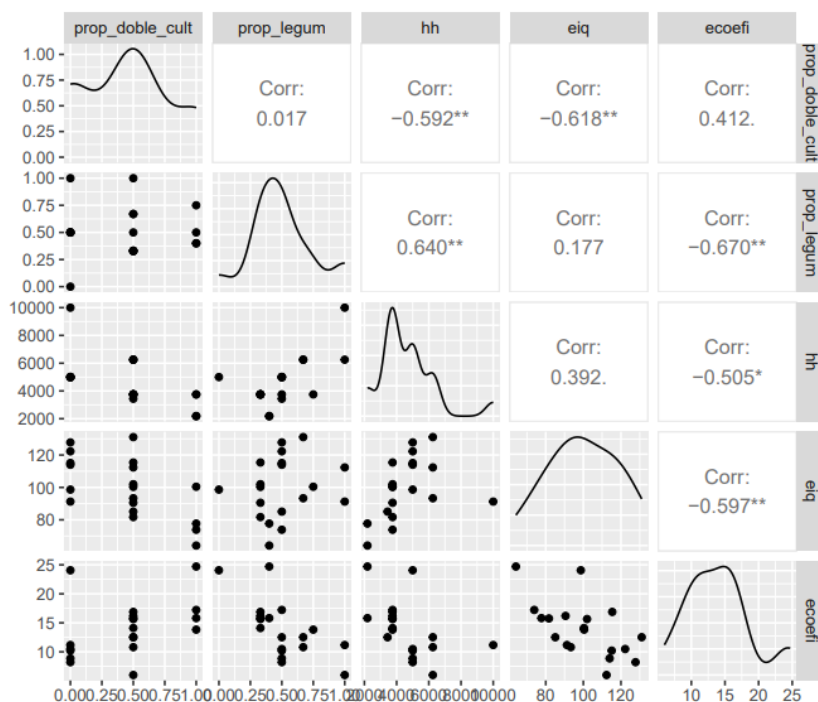


Figura 14. Valores de ecoeficiencia por secuencias de cultivos para las campañas 2019/20 y 2020/21 en el establecimiento La Lucila.

En la figura 15 se muestran los resultados del análisis de la correlación entre los indicadores de uso de suelo y del nivel de riesgo del uso de plaguicidas.



Nota: prop_doble_cult: Proporción de doble cultivo. prop_legum: Proporción de leguminosas. hh: Índice Herfindahl-Hirschman. eiq: Índice de Impacto Ambiental. ecoefi: Ecoeficiencia.

Figura 15. Correlación entre los indicadores de uso de suelo y del nivel de riesgo del uso de plaguicidas.

La figura 15 es una matriz de dispersión que muestra las relaciones entre varias variables relacionadas con la agricultura.

De los valores de correlación y sus niveles de significancia se obtienen los siguientes resultados:

- Proporción de Doble Cultivo (prop_doble_cult):

- Correlación con hh: -0.592** (significativa). Existe una correlación negativa significativa, lo que sugiere que a medida que aumenta la proporción de doble cultivo, el valor de hh disminuye, indicando una mayor diversificación agrícola.

- Correlación con eiq: -0.618** (significativa). Hay una relación negativa significativa, indicando que un mayor doble cultivo está asociado con un menor impacto ambiental.

- Correlación con ecoefi: 0.412 (significativa moderada). Existe una relación positiva moderada, sugiriendo que una mayor proporción de doble cultivo puede estar relacionada con una mayor ecoeficiencia.

- Proporción de Leguminosas (prop_legum):

- Correlación con hh: 0.640** (significativa). Hay una correlación positiva significativa, indicando que un mayor porcentaje de leguminosas está asociado con un mayor valor de hh, lo que sugiere una menor diversificación y tendencia al monocultivo.
- Correlación con ecoefi: -0.670** (significativa). Hay una relación negativa significativa, indicando que una mayor proporción de leguminosas está asociada con una menor ecoeficiencia.

- Índice Herfindahl-Hirschman (hh):

- Correlación con eq: 0.392 (significativa moderada). Existe una relación positiva moderada, indicando que una menor diversificación (mayor valor de hh) está asociada con un mayor impacto ambiental.
- Correlación con ecoefi: -0.505* (significativa). Hay una relación negativa moderada significativa, sugiriendo que una mayor diversificación (menor valor de hh) está asociada con una mayor ecoeficiencia.

- Índice de Impacto Ambiental (EIQ):

- Correlación con ecoefi: -0.597** (significativa). Existe una fuerte correlación negativa significativa, lo que indica que un mayor impacto ambiental está asociado con una menor ecoeficiencia.

El análisis de correlación entre estas variables proporciona información valiosa sobre las relaciones entre las prácticas agrícola, la diversificación, el impacto ambiental y la ecoeficiencia. En el estudio se observó una relación positiva entre el EIQ y el índice de diversificación (hh). Esto indica que cuando la diversificación disminuye los valores de EIQ son más altos. En cuanto a la ecoeficiencia, se identificó una relación negativa con el índice de diversificación (hh), lo que sugiere que una mayor diversificación se asocia con una mayor ecoeficiencia. Además, se encontró una relación negativa muy fuerte entre la ecoeficiencia y el porcentaje de leguminosas, evidenciando que un aumento en el porcentaje de leguminosas reduce la ecoeficiencia de la secuencia.

Discusión y conclusiones

En las dos campañas agrícolas evaluadas, se implementó una diversidad de cultivos en el establecimiento. Se observaron secuencias de rotación que no habían sido evaluadas en estudios previos sobre el uso de plaguicidas en cultivos de la zona, los cuales no incluyeron esta variedad de cultivos que tenemos en nuestro análisis (Tallone y Cabrini, 2018; Cano *et al.*, 2020).

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que los cultivos con los menores Índices de Impacto Ambiental (EIQ) fueron cebada y maíz tardío, lo cual contrasta con los resultados obtenidos por Tallone y Cabrini (2018), quienes identificaron a la ganadería y al trigo como las prácticas con menor EIQ. Es importante señalar que en el presente estudio no se incluyó la ganadería en el análisis, ya que se centró exclusivamente en la parte agrícola. Sin embargo, se puede observar una semejanza entre ambos estudios en cuanto a la identificación de cereales de invierno con los menores valores de EIQ, mientras que los cultivos de verano presentaron valores de EIQ más elevados. Esto podría explicarse por la menor presión de malezas durante el invierno.

Por su parte, Cano *et al.* (2020) indicaron que el cultivo con mayor EIQ promedio fue el maíz, mientras que el doble cultivo trigo/soja 2da de segunda presentó el menor impacto ambiental. En nuestro estudio, se determinó que el maíz semilla presenta un EIQ superior en comparación con la soja 1ra y el maíz convencional. Los resultados indican que la mayoría de los lotes de maíz semilla no contaron con un cultivo antecesor en el mismo año, lo que favoreció un mayor número de aplicaciones de plaguicidas durante el barbecho, incluyendo aquellos con un mayor índice de impacto ambiental. En el maíz convencional también se observaron varias aplicaciones de fitosanitarios en el barbecho, sin embargo, las diferencias más significativas surgieron en las aplicaciones postemergentes, siendo estas considerablemente más numerosas en el maíz semilla en comparación con el maíz convencional. El maíz tardío generalmente viene de lotes con cultivo de cobertura y se realizaron muchas menos aplicaciones de plaguicidas. Cabe destacar que este cultivo de maíz semilla no fue considerado en el estudio anterior, y en nuestro análisis se ubicó entre los cultivos con EIQ más elevados.

En el cultivo de soja, los mayores valores de EIQ se observaron en lotes con soja como antecesor. En el caso de la soja 2da, los valores más elevados de EIQ se registraron en lotes con arveja como antecesor, otra leguminosa.

La secuencia de maíz semilla-cebada/soja 2da mostró la mayor dispersión de valores de EIQ. Esta variabilidad puede estar relacionada con el alto EIQ del maíz semilla y el bajo EIQ del doble cultivo cebada/soja 2da.

Las diferencias entre los trabajos podrían explicarse por las distintas decisiones de manejo tomadas y el efecto que cada una de las diferentes secuencias elegidas tiene en cada caso. En términos de ecoeficiencia, en el presente trabajo, los cultivos más destacados fueron maíz tardío y rye grass (doble propósito). El maíz tardío es un producto muy valioso y en la mayoría de los lotes fue sembrado luego de un cultivo de cobertura, lo que llevó a una menor cantidad de aplicaciones de plaguicidas. Los cultivos menos ecoeficientes correspondieron a arveja y soja. La arveja posee un bajo valor de la producción y valores medios de EIQ. La soja posee elevados valores de indicador de impacto ambiental, ya que se utilizaron varios plaguicidas y de elevados EIQ en barbechos y durante el cultivo. Evaluando la ecoeficiencia, Tallone y Cabrini (2018) encontraron que las opciones más ecoeficientes fueron ganadería, trigo/soja 2da y maíz pisingallo, mientras que las menos ecoeficientes fueron soja y maíz. Esto contrasta con nuestros resultados, especialmente en el caso del maíz, que en nuestro estudio mostró una alta ecoeficiencia en su variante tardía. Considerando los resultados de Cano *et al.* (2020), la secuencia más ecoeficiente fue maíz – soja – trigo/soja 2da, mientras que la menos ecoeficiente fue la integrada por soja – soja. Esta comparación destaca la importancia de las condiciones específicas de cada estudio y resalta cómo diferentes combinaciones de cultivos y prácticas agrícolas pueden influir significativamente en los resultados de EIQ y ecoeficiencia.

Las diferencias observadas entre los estudios reflejan cómo las prácticas de manejo específicas y las combinaciones de cultivos pueden afectar tanto la sostenibilidad ambiental como la productividad agrícola.

Existe una necesidad de apuntar a una transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles para enfrentar los desafíos ambientales actuales Jobbágy *et al.* (2020). En nuestro trabajo se puede resaltar la amplia variedad de cultivos utilizados en el establecimiento, incluyendo varios cultivos invernales, los cuales ayudan a la supresión de malezas invernales, disminuyendo las aplicaciones de herbicidas en los barbechos y colaborando con un mejor balance de nutrientes.

En nuestro estudio se observó que los insecticidas presentaron los valores medianos de EIQ más elevados, así como una mayor cantidad de productos con bandas toxicológicas

menos amigables en comparación con los herbicidas y fungicidas. Estos hallazgos son consistentes con la literatura existente, como lo demuestran Knox *et al.* (2011), quienes reportaron una disminución significativa en los valores de EIQ, especialmente en el uso de insecticidas, al incorporar cultivos genéticamente modificados. Estos autores emplearon el EIQ como una herramienta para evaluar y comparar los impactos ambientales de los plaguicidas asociados con los cultivos genéticamente modificados frente a las prácticas agrícolas convencionales. Esta reducción en el impacto ambiental sugiere que la adopción de biotecnologías puede ser una estrategia eficaz para mitigar los efectos negativos asociados con el uso de plaguicidas en la agricultura. En relación a los cultivos genéticamente modificados, Nillesen *et al.* (2006) indican que los programas de manejo de maíces modificados genéticamente tienden a tener un menor impacto ambiental en comparación con los programas de manejo convencional, lo cual resalta la eficiencia y los beneficios ambientales de los cultivos genéticamente modificados. La integración de estos resultados en estrategias de manejo de cultivos puede mejorar significativamente la sostenibilidad y la eficiencia de la producción agrícola, reduciendo los riesgos ambientales y de salud asociados al uso de plaguicidas convencionales.

El estudio realizado por Ferraro *et al.* (2020) reveló que el cultivo de maíz presentó una ecoeficiencia baja, mostrando semejanzas con nuestro análisis (a excepción del maíz tardío). A pesar de los aumentos constantes en el rendimiento, se observó que, si bien hubo una mejora en la productividad, también se incrementó el impacto ambiental, lo que indica un camino hacia un sistema de cultivo insostenible si no se gestionan adecuadamente los riesgos asociados al uso de plaguicidas.

En nuestro estudio, se incluyó el cultivo de maíz semilla, el cual no se encuentra presente en el resto de los trabajos analizados. Los resultados mostraron que el maíz semilla presentó uno de los mayores valores de impacto ambiental y menor ecoeficiencia. Esto sugiere la necesidad de buscar mejoras en el manejo de este cultivo tan importante en nuestro país.

Se observaron diferencias y similitudes con el resto de los trabajos analizados, pudiendo explicar algunas de las diferencias en el hecho de que el impacto ambiental del cultivo a sembrar depende del antecesor y de la rotación previa. No será igual el EIQ esperado en una soja que viene de soja como antecesor, que el EIQ esperado en una soja incluida en una rotación después de cultivos como trigo o maíz, los cuales provienen de diferentes

poblaciones de malezas. Estas variaciones destacan la importancia de considerar el historial de cultivo y la secuencia de rotación para explicar diferencias en el impacto ambiental, ya que cada combinación específica influye significativamente en los resultados obtenidos.

En el análisis realizado por Rao y Nagamani (2013), se considera el EIQ como una herramienta clave para medir y cuantificar la ecoeficiencia de los componentes de la gestión de malezas. Este estudio destaca la necesidad de implementar una estrategia holística y adaptativa en el manejo de malezas, que combine conocimientos tradicionales con avances tecnológicos, con el fin de mejorar la productividad del cultivo de arroz de manera sostenible y ecoeficiente. Entre las prácticas recomendadas se incluye la selección de variedades de arroz que cubran rápidamente el suelo, lo que ayuda a competir con malezas susceptibles a la sombra, así como la implementación de siembra directa. Nuestro estudio corrobora estos hallazgos, demostrando que el doble cultivo, al mantener el suelo cubierto durante un período más prolongado, reduce la necesidad de aplicación de herbicidas y, por ende, mejora la ecoeficiencia del sistema de producción. La cobertura continua del suelo no solo suprime el crecimiento de malezas, sino que también contribuye a una mejor gestión de recursos y a la sostenibilidad del cultivo. Por lo tanto, los resultados obtenidos refuerzan la importancia de integrar estrategias de manejo de malezas que favorezcan la cobertura del suelo y disminuyan la dependencia de herbicidas. Otra posible estrategia para reducir el impacto ambiental consiste en identificar casos donde sea posible sustituir productos con un elevado indicador de impacto ambiental, por otros con un menor EIQ. Por ejemplo, el glufosinato de amonio tiene un EIQ más bajo que el glifosato, y ambos son herbicidas de acción total.

Este trabajo forma parte de un estudio más amplio que analiza diversas dimensiones de los sistemas de producción en este caso de estudio. El grupo de investigación también está examinando la importancia de los balances de nutrientes y sus costos de reposición, la dinámica del carbono y los indicadores económicos de las actividades agrícolas.

Bibliografía

Ambiente rural Municipalidad de Pergamino (2024): <https://pergamino.ar/control-de-aplicaciones-fitosanitarias/>

Andrade, F.H. (2016). "Los desafíos de la agricultura". 1a ed. – Acassuso: International Plant Nutrition Institute.

Aristide, P., Cittadini, E., Blumetto, O., Giobellina, B., Ledesma, S., Ovalle, C., Marchao, R., Caballero, P.J., Osman, A., y Tittonell, P. (2020). "Variables claves para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios: Hacia un sistema de indicadores de intensificación sostenible en el cono sur".

Cabrini S.M., Calcaterra C.P. y Lema D. (2013). "Costos ambientales y eficiencia productiva en la producción agraria del partido de Pergamino". *Revista iberoamericana de Economía Ecológica* 20: 27-43.

Cabrini, S.M., Cristeche, E., De Prada, J., Dupleich, J., Engler, P., Espósito, M., Manchado, J.C., Mathey, D., Natinzon, P., Schutz, P., Tello, D. y Vicente, G. (2018). Percepción sobre el impacto ambiental de la producción agropecuaria de la región pampeana Argentina. Pag.387-410 en: *Los conflictos ambientales en América Latina I. Casos y reflexiones*. Editores: C. Ruggerio y F. Suarez. Ediciones Universidad Nacional General Sarmiento. Los Polvorines.

Cano, P., Cabrini, S.M., Fillat, F., Peper, A., y Poggio, S.L. (2020). "Evaluación económica-ambiental de alternativas para intensificar y diversificar las rotaciones agrícolas en el norte de la provincia de Buenos Aires." *51 reunión anual de la asociación Argentina de economía agraria*, octubre. Encuentro virtual.

Cavallin A., Rossit D.G., Savoretti A.A., Frutos M., et al. 2017. Logística inversa de residuos agroquímicos en Argentina: resolución heurística y exacta. September 2017. 46 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación operativa - XLIII Conferencia Latinoamericana de Informática. Ciudad de Córdoba, Argentina. 1-7.

Donley N. The USA lags behind other agricultural nations in banning harmful pesticides. *Environ Health* 18, 44 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0488-0>

FAO y WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization). (2015). International code of conduct on pesticide management: guidelines on pesticide legislation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/195648>

Ferraro, D.O., Ghera F., de Paula R., Duarte Vera AC., y Pessah S. (2020). "Historical trends of the ecotoxicological pesticide risk from the main grain crops in rolling pampa (Argentina)". PLoS ONE 15(11): e0238676.

Fillat, F. A., Cabrini, S. M., y Paolilli, M. C. (2023). "Informe técnico campaña 22/23 y proyección 23/24 para el área de Pergamino". Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/indicadores-economicos-e-informes-tecnicos>

Flores C.C. y Sarandón S.J. (2002). "¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agriculturización en la región pampeana argentina". Revista Facultad de Agronomía 105(1): 52-67

Jobbágy, E.G, Aguiar, S., Piñeiro, G., Garibaldi, L. A. (2020). "Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos".

Knox, O. G., Walker, R. L., Booth, E. J., Hall, C., Crossan, A. N., y Gupta, V. V. (2011). "Capitalizing on deliberate, accidental, and GM-driven environmental change caused by crop modification". Journal of experimental botany, 63(2), 543-549.

Kovach, J., Petzoldt, C., Degnil, J. and Tette, J. (1992). "A method to measure the environmental impact of pesticides" New York's food and life sciences bulletin. Número 139: 139-146.

Montoya, J., López, S. N., Salvagiotti, F., Mitidieri, M., Cid, R., Sasal, C., Martens, S., Carrancio, L., Aparicio, V., Acciaresi, H., Papa, J. C., Vigna, M., Volante, J., Irurueta, M., y Trumper, E. (2023). "Los productos fitosanitarios en los sistemas productivos de la Argentina: Una mirada desde el INTA. Mesa de análisis y propuestas para el abordaje

integral del uso de productos fitosanitarios”. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Nillesen, E., Scatasta, S. y Wesseler, J. (2006). “Bt and Ht corn versus conventional pesticide and herbicide use. Do environmental impacts differ?”. International Association of Agricultural Economists Conference, Gold Coast, Australia.

Oerke E.C. 2006. Crop Losses to Pests. Journal of Agricultural Science, 144, 31-43.
<http://dx.doi.org/10.1017/S0021859605005708>

Parkin, M. y Loria, E. (2010). “Organización de la Producción”. Cáp 10. “Microeconomía Versión para Latinoamérica”. Novena edición. Pearson educación.

Peshin R. Economic Benefits of Pest Management;, Encyclopedia of Pest Management, pages 224-227, Pub. Marcel Dekker, 2002.

Portillo, J. E., Llorente, R. T., Fillat, F. A., Lopresti, M. F., Beribe, M. J., Cabrini, S. M., y Menes, J. F. (2024). Observatorio del uso y manejo de la tierra en el partido de Pergamino: tercer informe campaña 2023/2024. EEA Pergamino, INTA. Informe técnico Nro 3-2024.

Pretty, J. N., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., ... Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature sustainability*, 1(8), 441–446.

Rao, A. N., y Nagamani, A. (2013). Ecoefficient weed management approaches for rice in tropical Asia. In proceedings of the 4th tropical weed science conference. Chiang Mai, Thailand: TWSC (pp. 78-87).

Sarandón S.J. (2002). “La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El Impacto de la Agricultura intensiva de la Revolucion Verde”. En “AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable”, S.J. Sarandon (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 1: 23-48. ISBN:987-9486-03-X

SENASA. 2003. Resolución 500/2003. Créase el Sistema Federal de Fiscalización de Agroquímicos y Biológicos. Objetivos y organización. Apéndice II. Glosario de términos.
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/85000-89999/88014/norma.htm>

Stewart, C. L., Nurse, R. E., Van Eerd, L. L., Vyn, R. J., y Sikkema, P. H. (2011). Weed control, environmental impact, and economics of weed management strategies in glyphosate-resistant soybean. *Weed technology*, 25(4), 535-541.

Tallone, V., y Cabrini, S.M. (2018). "Evaluación de indicadores de impacto ambiental por el uso de agroquímicos y ecoeficiencia en sistemas de producción del partido de Pergamino". *Asociación Argentina de economía agraria XLIX reunión anual de la AAEA, Santa Fe*.

Viglizzo E.F., Frank F., Bernardos J., Buschiazzi D.E. (2006). "A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina". *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 109- 134

ANEXO I

Uso de suelo por lote y superficie sembrada en hectáreas por campaña en el establecimiento.

Lote	2019/2020	2020/2021	2019/2020		2020/2021	
			invierno	verano	invierno	verano
1	Trigo/Soja 2da	Maiz	27	25		25
2	Soja	Cebada/Soja 2da		37	37	37
3	Soja	Trigo/Soja 2da		50	47	47
4	Maiz	Soja		52		56
5	Trigo/Soja 2da	Maiz	38	38		38
7	Trigo/Soja 2da	Maiz	69	69		70
8 A	Maiz tardio			16		
8	Soja	Soja		8		8
13	Soja	Trigo/Soja 2da		70	70	70
15	Soja	Soja		72		21
28	Soja	Soja		11		11
30	Soja	Soja		20		20
40	Maiz	Soja		46		46
11/12	Soja	Soja		31		31
6/12	Maiz	Soja		82		85
15/21E		Cebada/Soja 2da			96	51
16-15	Trigo/Soja 2da	Maiz tardio	62	58		58
21E	Soja	Soja		45		44
23 O	Cebada/Soja 2da	Maiz	24	24		24
33-37	Cebada/Soja 2da	Maiz tardio	26	26		26
33CH	Soja	Trigo/Soja 2da		6	6	6
34 A	Cebada/Soja 2da	Maiz tardio	7	7		7
36 B	Arveja/Soja 2da	Trigo/Soja 2da	16	16	16	16
38 A	Cebada/Soja 2da	Soja	11	11		11
C 14/9	Trigo/Soja 2da	Maiz semilla	52	52		52
C 19	Trigo/Soja 2da	Maiz semilla	52	52		52
C 20	Maiz semilla	Soja		50		52
C 22-23	Maiz semilla	Cebada/Soja 2da		52	49	49
C 22-28	Maiz semilla	Rye grass/Soja2da		52	52	52
C 25	Cebada/Soja 2da	Maiz semilla	50	50		50
C 26-20	Rye grass/Soja2da	Maiz semilla	50	52		52
C 27	Rye grass/Soja2da	Maiz semilla	40	40		40
C 31-35	Maiz semilla	Lotus Tenuis		52	52	
C 32-36	Maiz semilla	Lotus Tenuis		52	52	
C 33	Maiz semilla	Rye grass		40	40	
FC 14/9	Soja	Cebada/Vicia - Maiz tardio		41	35	32
FC 16/17	Trigo/Soja 2da	Maiz tardio	30	25		26
FC 19	Soja			25		
FC 19/25		Cebada/Soja 2da			50	50
FC 20	Cebada/Soja 2da	Soja	34	34		34
FC 21/22	Soja	Soja		20		20
FC 22-23	Cebada/Soja 2da	Trigo/Soja 2da	11	11	14	11
FC 22-28	Arveja/Soja 2da	Trigo/Soja 2da	16	16	16	16
FC 25	Soja			25		
FC 26/20	Soja	Cebada/Soja 2da		22	22	22
FC 27	Soja	Soja		24		20
FC 31/35	Soja	Arveja/Soja 2da		26	26	26
FC 32/36	Soja	Arveja/Soja 2da		11	16	16
FC 33	Cebada/Soja 2da	Maiz tardio	34	34		38

ANEXO II

Listado de plaguicidas utilizados en el las campañas 2019/2020 – 2020/2021. Valores de
EQ por principio activo.

Nombre de Productos	Tipo de Producto	Principio Activo	Concentracion	EQ_C	EQ_W	EQ_E	EQ
Gesaprim 90WG	Herbicida	Atrazina	0,900	5,6	6,4	43,0	18,3
Finesse	Herbicida	Clorsulfurón	0,625	4,5	4,5	35,7	14,9
Finesse	Herbicida	Metsulfurón metil	0,125	0,9	0,9	3,8	1,9
Acetoclor	Herbicida	Acetoclor	0,900	4,1	8,2	33,6	15,3
Heat	Herbicida	Saflufenacil	0,700	2,5	10,0	30,7	15,0
Dicamba	Herbicida	Dicamba sodium	0,580	4,0	6,0	29,3	13,1
Clorimuron 75%	Herbicida	Clorimuron etil	0,750	4,7	5,4	28,5	12,8
2,4 D - Arina (60 %)	Herbicida	2,4-D dimetilamina	0,600	3,6	12,3	15,9	10,6
Roundup Full 2	Herbicida	Glifosato	0,662	1,7	4,5	19,8	8,7
Metsulfuron	Herbicida	Metsulfuron metil	0,600	4,3	4,3	18,2	8,9
Spider	Herbicida	Diclosulam	0,840	3,7	4,5	13,6	7,3
Gramoxone	Herbicida	Paraquat dicloruro	0,276	1,5	7,5	8,5	5,8
Cleverdim	Herbicida	Cletodim	0,360	2,5	3,7	9,5	5,2
Sulfentrazone 50%	Herbicida	Sulfentrazone	0,500	3,4	2,6	9,1	5,0
Cletodim	Herbicida	Clethodim	0,240	1,6	2,5	6,4	3,5
Imazetapir	Herbicida	Imazetapir	0,106	1,0	1,4	2,9	1,8
2,4DB	Herbicida	2,4DB	0,931	4,2	6,6	32,4	14,4
Acuron	Herbicida	Biciclopirona	0,200	2,6	6,9	21,3	10,3
Adengo	Herbicida	Thiencarbazone	0,090	0,6	1,3	2,7	1,5
Adengo	Herbicida	Isoxalutole	0,225	1,8	4,8	7,8	4,8
Equip	Herbicida	Foramsulfuron	0,300	1,9	2,1	8,3	4,1
Equip	Herbicida	Iodosulfuron	0,200	0,1	0,1	0,4	0,2
Flumyzin	Herbicida	Flumioxazin	0,500	2,7	7,1	22,2	10,7
Fomesafen	Herbicida	Fomesafen	0,250	2,0	7,1	7,3	5,5
Guardian	Herbicida	Acetoclor	0,840	4,0	8,0	32,7	14,9
Harness	Herbicida	Acetoclor	0,900	4,3	8,6	35,0	16,0
Latium super	Herbicida	Cletodim	0,360	2,6	3,9	10,0	5,5
Laudis	Herbicida	Tembotrione	0,420	1,7	6,9	45,3	18,6
Laudis	Herbicida	Isoxadifen etil	0,210	0,6	1,3	13,9	5,3
Ligate	Herbicida	Sulfometuron metil	0,150	0,8	1,1	6,1	2,7
Ligate	Herbicida	Chlorimuron etil	0,200	1,2	1,4	7,6	3,4
Paraquat	Herbicida	Paraquat dicloruro	0,247	1,6	7,9	8,8	6,1
Picloram	Herbicida	Picloram	0,277	2,2	2,0	9,1	4,4
Preside	Herbicida	Flumetsulam	0,120	0,8	0,8	3,5	1,7
Pyroxasulfone	Herbicida	Pyroxasulfone	0,480	1,7	5,1	7,7	5,3
Zidua	Herbicida	Pyroxasulfone	0,850	3,0	9,1	13,7	9,4
Zidua	Herbicida	Saflufenacil	0,700	2,5	10,0	30,7	15,0
Starane Xtra	Herbicida	Fluroxypyr	0,480	3,4	3,4	40,3	15,7
Dinno 70wp	Insecticida	Dinotefuran	0,700	4,7	4,3	32,7	13,9
Solomon	Insecticida	Imidacloprid	0,210	1,9	1,2	16,7	6,6
Solomon	Insecticida	Beta cifturina	0,089	0,2	0,5	6,5	2,4
Belt	Insecticida	Flubendiamide	0,480	1,3	4,2	18,3	7,9
Coragen	Insecticida	Clorantniliprole	0,200	1,1	1,2	7,1	3,1
Bifentrin 10 %	Insecticida	Bifentrin	0,100	0,7	1,2	9,5	3,8
Abamectina	Insecticida	Abamectina	0,840	0,3	1,0	6,5	2,6
Bifentrin 20 %	Insecticida	Bifentrin	0,200	1,4	2,5	19,9	7,9
Clorpirifos	Insecticida	Clorpirifos	0,480	0,9	2,6	31,1	11,5
Decis forte	Insecticida	Deltametrina	0,100	0,2	1,6	5,8	2,5
Decis flow	Insecticida	Deltametrina	0,200	0,4	3,2	11,6	5,1
Imidacloprid	Insecticida	Imidacloprid	0,350	3,2	2,2	29,0	11,5
Cripton	Fungicida	Prothioconazole	0,175	1,8	2,4	9,7	4,7
Cripton	Fungicida	Trifloxystrobin	0,150	1,3	1,6	8,6	3,8
Scenic Fs 80	Fungicida	Prothioconazole	0,375	0,4	0,5	2,1	1,0
Scenic Fs 80	Fungicida	Fluoxastrobin	0,375	0,8	0,7	3,9	1,8
Scenic Fs 80	Fungicida	Tebuconazole	0,500	0,1	0,1	0,3	0,2
Dividen xtra	Fungicida	Difenoconazole	0,025	0,5	0,3	1,8	0,9
Dividen xtra	Fungicida	Fludioxonil	0,025	0,1	0,2	1,3	0,5
Sistiva	Fungicida	Fluxapyroxad	0,330	1,8	1,8	16,9	6,8
Sistiva	Fungicida	Triticoconazole	0,100	0,5	0,5	2,1	1,0
Orquesta Ultra	Fungicida	Fluxapyroxad	0,500	0,3	0,3	2,6	1,0
Orquesta Ultra	Fungicida	Epoxiconazole	0,500	1,3	0,9	5,4	2,6
Orquesta Ultra	Fungicida	Pyraclostrobin	0,810	0,3	0,6	5,0	2,0
Opera	Fungicida	Pyraclostrobin	0,133	0,5	1,0	8,2	3,2
Opera	Fungicida	Epoxiconazole	0,050	1,3	0,9	5,4	2,6
Cripton Xpro	Fungicida	Bixafen	0,125	2,2	2,9	23,8	9,6
Cripton Xpro	Fungicida	Prothioconazole	0,175	1,9	2,5	10,1	4,9
Cripton Xpro	Fungicida	Trifloxistobin	0,150	1,4	1,6	9,0	4,4
Allegro	Fungicida	Kresoxin-Metil	0,125	0,5	1,0	3,5	1,7
Allegro	Fungicida	Epoxiconazole	0,125	3,3	2,2	13,4	6,4

Nota: EQ_C: EQ consumidor. EQ_W: EQ trabajador agrícola. EQ_E: EQ ecológico. EQ: EQ promedio.

Valores de EIQ acumulado por producto en las campañas 2019/2020 – 2020/2021.

PRODUCTO	EIQ	Tipo de producto
Roundup Full 2	4161,2	Herbicida
2.4 D - Amina (60 %)	1240,5	Herbicida
Gesaprim 90WG	648,5	Herbicida
Acetoclor	543,2	Herbicida
Harnesss	403,6	Herbicida
Guardian	252,2	Herbicida
latium super	250,9	Herbicida
paraquat	242,6	Herbicida
Solomon	159,4	Insecticida
Dicamba	159,2	Herbicida
Orquesta Ultra	101,4	Fungicida
Sulfentrazone 50%	99,1	Herbicida
Cripton Xpro	90,7	Fungicida
Gramoxone	89,8	Herbicida
Clorpirifos	66,7	Insecticida
Cletodim	46,1	Herbicida
Laudis	35,9	Herbicida
Belt	35,7	Insecticida
Cleverdim	32,5	Herbicida
Allegro	32,4	Fungicida
2,4DB	28,8	Herbicida
adengo	28,6	Herbicida
picloram	27,5	Herbicida
Cripton	25,1	Fungicida
Acuron	23,0	Herbicida
fomesafen	22,7	Herbicida
Bifentrin 20 %	22,4	Insecticida
Bifentrin 10 %	15,1	Insecticida
Opera	11,6	Fungicida
Starane Xtra	9,9	Herbicida
ligate	8,4	Herbicida
Imidacloprid	6,9	Insecticida
Heat	6,4	Herbicida
Imazetapir	5,6	Herbicida
Equip	4,3	Herbicida
Finesse	3,9	Herbicida
Zidua	3,4	Herbicida
decis flow	2,9	Insecticida
Coragen	2,5	Insecticida
Scenic Fs 80	2,4	Fungicida
Sistiva	2,3	Fungicida
Decis forte	2,2	Insecticida
Pyroxasulfone	1,9	Herbicida
Flumyzin	1,6	Herbicida
Clorimuron 75%	1,6	Herbicida
Preside	1,4	Herbicida
Metsulfuron	1,2	Herbicida
Dinno 70wp	0,9	Insecticida
Dividen xtra	0,7	Fungicida
Abamectina	0,3	Insecticida
Spider	0,1	Herbicida