

DIVERSIDAD E INTENSIDAD DE SECUENCIAS DE CULTIVOS: EFECTO AMBIENTAL Y ECONOMICO DEL CONTROL QUIMICO DE MALEZAS

Martín A. Principiano¹, Horacio Acciaresi²

Palabras clave: intensificación de la secuencia; diversificación; EIQ; IPEST; costo económico

El objetivo de este trabajo fue determinar cómo la intensidad y diversidad de secuencias de cultivos inciden sobre el impacto ambiental y el costo económico del control químico de malezas en lotes productivos del NO de la provincia de Buenos Aires. El estudio incluyó el análisis del programa de control de malezas con trece secuencias de cultivos. El aumento en la intensidad y diversidad de la secuencia contribuyó a reducir el costo económico en herbicidas y el impacto/riesgo ambiental.

INTRODUCCION

La diversidad de cultivos, tanto en tiempo como en espacio, ha sido reconocida como una práctica efectiva en el manejo de malezas debido a que se genera inestabilidad en los patrones de disturbios y en la oferta de recursos y se limita la disponibilidad de sitios seguros para el establecimiento de malezas.

Con el fin de aumentar la sostenibilidad de las estrategias de manejo de malezas, el proceso de toma de decisiones debe considerar el posible impacto ambiental que conllevan las diferentes alternativas tecnológicas usadas para controlarlas (Stewart *et al.*, 2011). En este contexto, una de las posibilidades es el uso de índices de evaluación de impacto ambiental que permiten evaluar el riesgo ambiental de las prácticas abordadas (Kovach *et al.*, 1992; Van der Werf y Zimmer, 1998).

Además de garantizar que los programas de control de malezas sean eficaces y ambientalmente sostenibles, es importante contar con un análisis del impacto económico de los diferentes programas de control de malezas (Stewart *et al.*, 2011). Así, el impacto ambiental y el costo económico deben evaluarse y tenerse en cuenta equitativamente en el proceso de toma de decisiones.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar cómo la intensidad y diversidad de secuencias de cultivos inciden sobre el impacto ambiental y el costo económico del con-

trol químico de malezas en lotes productivos del noroeste de la provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y METODOS

El estudio comprendió el análisis del programa de control de malezas de establecimientos agrícolas pertenecientes al partido de Pergamino (33° 53'S; 60° 34'O) para el período 2016/17 y 2017/18 en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensidad y diversidad. Se tomaron los registros de trescientos lotes productivos con trece secuencias de cultivos diferentes que determinan distintos esquemas de control de malezas, según el nivel de enmalezamiento que presentaron. La intensificación de cada secuencia se midió a través del índice de intensificación de la secuencia (IIS), calculado como la relación entre el número de días en que el lote permaneció ocupado sobre el número de días totales de la rotación (Tabla 1). El nivel de diversificación de las secuencias se estimó en base al índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH) (Hirschman, 1964). Este índice toma valores entre 0 y 10000 y es utilizado para medir el grado de concentración de las actividades económicas. En este trabajo se calculó como la sumatoria de los porcentajes del tiempo asignado a cada cultivo agrícola al cuadrado. El valor más elevado corresponde al uso de tierra con un único cultivo anual y valores menores corresponden a mayores niveles de diversificación productiva (Tabla 1).

De cada secuencia de cultivos se registró la

1- CIC-UNNOBA. m.principiano@hotmail.com

2- Investigador EEA INTA Pergamino – Grupo Protección Vegetal-Malezas. CIC. acciaresi.horacio@inta.gob.ar

Tabla 1. Secuencias de cultivos (s.c.) analizadas, días donde el lote permaneció ocupado con cultivos (días ocupados), días totales, índice de intensificación de la secuencia (IIS) e índice de diversidad de la secuencia (HH) en lotes de producción durante las campañas 2016-17 y 2017-18 en el partido de Pergamino. CC: Cultivos de cobertura; SQ: secado químico; SM: secado mecánico.

s.c.	Año 1	Año 2	Días ocupados	Días totales	IIS (días.días ⁻¹)	Índice de diversidad (HH)
1	CC / Soja (SQ)	Trigo / Soja	653	730	0,89	3750,0
2	CC / Soja (SM)	Trigo / Soja	653	730	0,89	3750,0
3	Centeno / Soja	Trigo / Soja	602	730	0,82	3750,0
4	Avena / Soja	Cebada / Soja	624	730	0,85	3750,0
5	Centeno / Soja	Soja	444	730	0,61	5544,5
6	Trigo / Soja	Maíz	469	730	0,64	3326,7
7	Trigo / Soja	Soja	418	730	0,57	5544,5
8	Soja	Soja	300	730	0,41	10000,0
9	Soja	Sorgo	330	730	0,45	5000,0
10	Soja	Maíz	317	730	0,43	5000,0
11	Sorgo	Soja	330	730	0,45	5000,0
12	Maíz	Soja	311	730	0,43	5000,0
13	Maíz tardío	Soja	550	730	0,75	5000,0

cantidad de intervenciones químicas con herbicidas (i.q.), principios activos de los herbicidas (p.a.) y mecanismos de acción utilizados (m.a.). A su vez, se determinó la cantidad de activos de herbicidas acumulados (a.a.) en los dos años para cada secuencia. Se registró también el consumo promedio de glifosato en litros por hectárea por año para cada secuencia.

Para el cálculo de los costos económicos en herbicidas en el control de malezas se tomaron como referencia precios de insumos promedio del mercado local de agroquímicos y la cantidad de intervenciones en cada secuencia de cultivo. El precio de la labor de pulverización se tomó como promedio del valor informado por referentes locales.

Para el cálculo del impacto ambiental del programa de manejo de cada secuencia se utilizaron dos índices: EIQ, método propuesto por Kovach *et al.* (1992) y el IPEST, método propuesto por Van der Werf y Zimmer (1998).

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

$$EIQ_{\text{campo}} = EIQ_{\text{herbicida}} * \text{concentración del activo de herbicida} * \text{dosis} * N^{\circ} \text{ de aplicaciones}$$

Una vez calculado el EIQ de campo de cada herbicida se realizó la sumatoria de cada uno de los EIQ de campo y se obtuvo el EIQ de cada programa de control de malezas en las secuencias evaluadas.

De acuerdo a lo propuesto 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).

Para el cálculo del IPEST se procedió en dos etapas. En primer lugar se calculó el índice para cada ingrediente activo (IPEST i.a.) y luego se agregaron todos los tratamientos realizados en el ciclo del cultivo (IPEST). El sistema experto calcula el valor de los módulos de acuerdo con la pertenencia de las variables como subconjuntos difusos favorables y desfavorables y agrega las siguientes reglas de decisión (Rodríguez Molina, 2009). Para IPEST i.a. se utilizó una escala de 0 (desfavorable) a 10 (favorable). IPEST se calculó con las siguientes ecuaciones (2, 3):

$$(2) \text{ IPEST} = \text{MIN IPESTa.i.} - (\text{Factor de riesgo} * k)$$

Donde MIN IPEST i.a. es el valor mínimo de IPEST de todos los activos empleados durante el ciclo del cultivo.

$$(3) \text{ Factor de riesgo} = 10 - \text{IPESTa.i.} / 10$$

Y k es un factor de calibración necesario para obtener una escala entre 0 y 10. Los valores IPEST de 7 o más son aceptables sin riesgo de contaminación, mientras que los que están por debajo se relacionan con los riesgos de impacto ambiental (Van der Werf y Zimmer, 1998).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se cuantificó la relación entre el índice de intensificación y diversificación de la secuencia y cada variable analizada por medio de un modelo de re-

Tabla 2. Cantidad de intervenciones químicas con herbicidas (i.q.); principios activos (p.a.); mecanismos de acción (m.a.); activos acumulados (a.a.); litros promedio de glifosato por hectárea por año (l.p.g.); coeficiente de impacto ambiental promedio (EIQ prom.); riesgo ambiental promedio (IPEST prom.); costo total en herbicidas (c.t.h.) para cada secuencia de cultivos (s.c.) analizada en lotes de producción durante las campañas 2016-17 y 2017-18 en el partido de Pergamino. CC: cultivo de cobertura; SQ: secado químico; SM: secado mecánico; Sj: soja; Cen: centeno; Tg: trigo; Mz: maíz; Sg: sorgo; Mz tar: maíz tardío; Av: avena; Ceb: cebada.

s.c.	Año 1	Año 2	i.q.	p.a.	m.a.	a.a.	l.p.g. (l.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	EIQ prom.	IPEST prom.	c.t.h. (u\$.ha ⁻¹)
1	CC / Sj (SQ)	Tg / Sj	5	8	5	15	8,3	73,2	8,1	163,8
2	CC / Sj (SM)	Tg / Sj	4	8	6	13	6,5	58,5	8,5	140,6
3	Cen / Sj	Tg / Sj	5	7	5	13	7,8	69,2	7,8	128,5
4	Av / Sj	Ceb / Sj	5	5	5	10	6,3	56,4	8,2	90,8
5	Cen / Sj	Sj	7	9	7	15	8,0	80,3	6,9	173,6
6	Tg / Sj	Mz	4	8	7	13	6,3	78,4	7,4	150,4
7	Tg / Sj	Sj	6	10	7	18	8,0	85,2	6,4	175,1
8	Sj	Sj	8	8	7	22	9,5	109,1	5,6	220,2
9	Sj	Sg	6	10	7	17	7,5	120,6	6,5	185,6
10	Sj	Mz	6	11	8	17	7,5	102,3	6,5	195,5
11	Sg	Sj	6	10	7	17	7,5	120,6	6,5	185,6
12	Mz	Sj	6	11	8	17	7,5	103,8	6,2	197,9
13	Mz tar	Sj	7	10	8	20	7,8	127,1	6,0	224,0

gresión lineal. A su vez se cuantificó la relación entre los índices de impacto y riesgo ambiental utilizados por medio de un modelo de regresión lineal.

Con el fin de encontrar similitudes entre las distintas secuencias de cultivos analizadas se realizó un análisis de conglomerados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos indican que el aumento en el índice de intensificación de la secuencia (IIS) genera una disminución significativa en la cantidad de p.a., m.a., a.a., impacto/riesgo ambiental y costo económico en herbicidas. Esto indica que a medida que aumenta el número de días en que el lote está ocupado disminuye la dependencia hacia el control químico, reduciendo así no sólo los costos en herbicidas sino también el impacto ambiental. Las relaciones entre el IIS y cantidad de i.q. con herbicidas y la dosis promedio de glifosato por hectárea por año no fueron significativas.

A su vez, el incremento en la diversidad de la secuencia generó una reducción significativa en la cantidad de i.q. con herbicidas, a.a., litros promedio de glifosato por hectárea por año, riesgo ambiental (IPEST) y costo económico en herbicidas. La relación no fue significativa para la cantidad de

p.a., m.a. e impacto ambiental (EIQ).

Se observó una disminución importante en el impacto y riesgo ambiental al incorporar cultivos invernales, ya sea de producción (trigo, cebada) o de servicio (cultivos de cobertura) en la secuencia. La presencia de cultivos invernales por su estructura permite interferir en los procesos de enmalezamiento y por ende hacer un menor uso de herbicidas. Las situaciones que generaron el mayor impacto ambiental fueron las de monocultura de soja y las secuencias que incluyeron sorgo o maíz (Stewart *et al.*, 2011) (Tabla 2). En estas secuencias el IIS es bajo con largos periodos donde el lote permanece sin ocupación lo que obliga a aumentar la dependencia hacia el control químico para llegar a la siembra de los cultivos estivales con lotes limpios de malezas. A su vez, el alto impacto ambiental de las secuencias que incluyen maíz (ya sea de siembra temprana o tardía) y sorgo se debe al uso de atrazina como herbicida residual, el cual es un activo de alto impacto ambiental.

Se halló una asociación significativa entre los indicadores de impacto ambiental (EIQ) y riesgo ambiental (IPEST) ($p < 0,0001$). Los mayores valores del EIQ guardaron relación con el incremento del riesgo ambiental (IPEST) ($R^2 = 0,776$), ocasio-

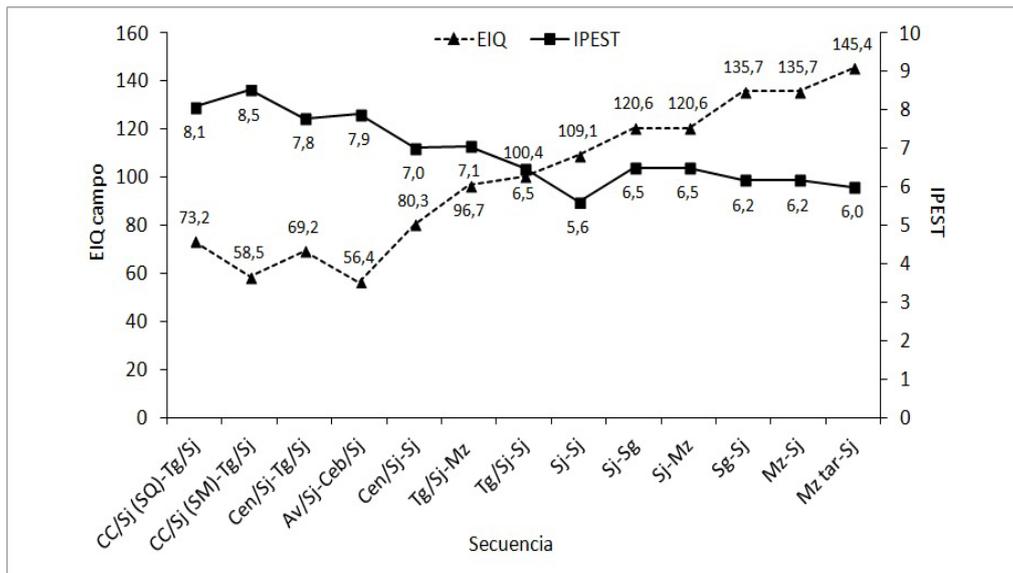


Figura 3. Comparación de índices de coeficiente de impacto ambiental (EIQ) y riesgo ambiental (IPEST) calculados para cada secuencia de cultivos en lotes de producción durante las campañas 2016-17 y 2017-18 en el partido de Pergamino. CC: cultivo de cobertura; SQ: secado químico; SM: secado mecánico; Sj: soja; Cen: centeno; Av: avena; Ceb: cebada; Tg: trigo; Mz: maíz; Sg: sorgo; Mz tar: maíz tardío.

nados por los programas de manejo de malezas aplicados en cada secuencia de cultivos (Figura 3). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Montico *et al.* (2014).

En el análisis de agrupamiento, el primer nivel de clasificación separó las secuencias en dos grupos. Así, se pudo observar el agrupamiento de

aquellas secuencias de mayor intensidad y diversidad por un lado, y las de menor en otro grupo. Esto evidencia la importancia de la intensidad y composición de la secuencia en el impacto ambiental y económico del control químico de malezas. Secuencias más intensas y diversas se asociaron con menor carga de herbicidas (Figura 4).

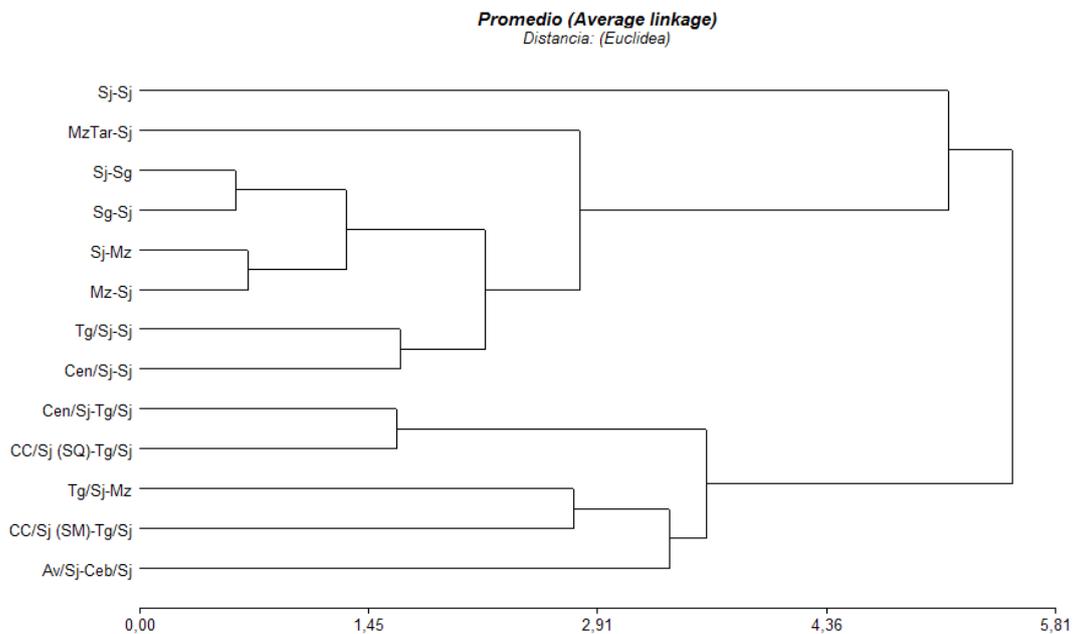


Figura 4. Dendrograma basado en la correlación de los programas de manejo de malezas en cada secuencia de cultivo en lotes productivos del NO de la provincia de Buenos Aires para las campañas 2016-17 y 2017-18. CC: cultivo de cobertura; SQ: secado químico; SM: secado mecánico; Sj: soja; Cen: centeno; Av: avena; Ceb: cebada; Tg: trigo; Mz: maíz; Sg: sorgo; Mz tar: maíz tardío.



CONCLUSIONES

El conocimiento de los efectos del nivel de intensidad y diversidad de las secuencias en el impacto ambiental y costo económico de los herbicidas utilizados en los distintos programas de manejo de malezas es una medida de la calidad del proceso productivo y aporta a la construcción de un sistema de referencia respecto de cómo se lleva adelante la producción. En este sentido, disponer de este tipo de análisis permite valorar los riesgos ambientales y económicos y brindar información para minimizar el uso de herbicidas.

Los resultados alcanzados demuestran que dado el intenso proceso de enmalezamiento y el consecuente alto uso de herbicidas, las condiciones de monocultura no contribuyen al establecimiento de sistemas agrícolas sustentables en la región, ya sea desde el punto de vista económico como ambiental.

BIBLIOGRAFIA

Eshenaur, B.; Grant, J.; Kovach, J.; Petzoldt, C.; Degni, J.; Tette, J. 2015. <https://nysipm.cornell.edu/eiq/calculator-field-use-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. 1992–2015.

Hirschman, A. O. 1964. The Paternity of an Index. . American Economic Review. 54:761-762.

Kovach, J.; Petzoldt, C.; Degni, J.; Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. N.Y. Food Life Sci. Bull. 139:139–146.

Stewart, C.L.; Nurse, R.E.; Van Eerd, L.L.; Vyn, L.L.; Sikkema, P.H. 2011. Weed control, environmental impact, and economics of weed management strategies in glyphosate-resistant soybean. Weed Technology 25:535–541.

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. <<

