

Estimación de la reducción potencial en el uso de herbicidas a través del uso adecuado de los cultivos de cobertura: efecto de la densidad de avena negra y el rolado como método de desecación sobre el control de malezas y el rendimiento de soja

Alejandro García, Pamela Jorajuría, Mauricio Cabrera y Tiago Kasparly

Introducción

La interferencia de malezas sigue siendo uno de los principales factores limitando la producción global de cultivos y pasturas (Villalobos *et al.*, 2016). A esto se suma que el uso inapropiado de herbicidas, la herramienta mayormente utilizada para el manejo de malezas en la agricultura moderna ha favorecido la selección de biotipos resistentes a estos productos. Esta situación, generalizada a nivel mundial (Heap, 2014), genera gran preocupación, ya que el control de estos biotipos resistentes implica generalmente un aumento en el uso de herbicidas que conlleva importantes aumentos en los costos de producción, así como también preocupación por aspectos ambientales y de inocuidad alimentaria (Carvalho, 2006).

Actualmente, dos de las principales especies malezas reportadas como problemáticas en Uruguay y otros países del cono sur, son el raigrás (*Lolium multiflorum*) y la conyza (*Conyza spp.*). No solo son muy competitivas, de gran dispersión y muy adaptadas a los sistemas de producción agrícolas, sino que muchas poblaciones de estas especies han sido seleccionadas para la resistencia a diferentes mecanismos de acción de herbicidas complejizando su manejo y exigiendo la adopción de estrategias integradas de manejo.

El manejo integrado de malezas consiste en un abordaje que integra diferentes herramientas de control, con el objetivo de mantener las poblaciones de malezas en niveles manejables, reducir el impacto de prácticas individuales de control y también la presión de selección por resistencia a herbicidas, favoreciendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Swanton *et al.*, 2008). Dentro del manejo integrado de malezas, la utilización del control cultural, particularmente de los cultivos de cobertura constituyen una opción de alto impacto para la supresión de malezas, entre otras ventajas que contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola (Harker e O'donovan, 2013; Osipitan *et al.*, 2018). Sin embargo, el volumen de información e investigación referida al control químico de malezas supera ampliamente la información referida a otros métodos de manejo, incluyendo el uso de cultivos de cobertura (Harker e O'donovan, 2013). Una de las limitantes para la adopción de estrategias que incluyan cultivos de cobertura es la falta de información adaptada regionalmente de acuerdo a las mejores opciones disponibles de cultivos de cobertura y las malezas problema dominantes (Dorn *et al.*, 2015).

Uno de los puntos clave en el uso de cultivos de cobertura es su terminación previa a la siembra del próximo cultivo, que se puede realizar a través del laboreo o la aplicación de herbicidas. En la actualidad la mayor parte de la agricultura en Uruguay se realiza en esquemas de siembra directa por lo cual la preparación de las camas de siembra se realiza principalmente a través de la utilización de herbicidas. Sin embargo, la utilización masiva de herbicidas y la resistencia de malezas a estos productos constituyen una preocupación creciente para el público general y las comunidades agrícolas. El rolado es un método mecánico que puede servir como alternativa al control químico, tanto sustituyéndolo en determinados casos, como actuando sinérgicamente con él para lograr una utilización más eficiente de los herbicidas. El rolado consiste en la utilización de una herramienta con forma de tambor aplanador que contiene hojas sin filo que lastiman el material vegetal cada 20 cm aproximadamente, promoviendo la muerte de las plantas de ciclo anual, si es realizado en el momento correcto (Ashford *et al.*, 2000; Ashford e Reeves, 2003).

En este escenario, los objetivos de estos experimentos fueron los de evaluar para las condiciones de nuestro país: i) el control de malezas en función de diferentes densidades de siembra de avena negra, y ii) la utilización del rolado para la terminación del cultivo de avena, y su efecto sobre el enmalezamiento y la performance (implantación y rendimiento) del cultivo posterior.

Materiales y Métodos

Localización

El presente trabajo incluyó 3 experimentos, ubicados en diferentes sitios, en los departamentos de Soriano, San José y Colonia evaluando las mismas alternativas de tratamiento. La etapa experimental transcurrió desde mayo de 2018 hasta mayo de 2019.

El experimento 1 (Las Delicias) se sembró el 16 de mayo, en un suelo Vertisol rúptico perteneciente al grupo CONEAT 10.12, Unidad La Carolina (MGAP. DGRNR. CONEAT 1994, MGAP. RENARE 2016).

El experimento 2 (Ecilda) se sembró el, 14 de junio en un suelo Brunosol subéutrico perteneciente al grupo CONEAT 10.6 b, Unidad Toledo (MGAP. DGRNR. CONEAT 1994, MGAP. RENARE 2016).

El experimento 3 (Ruta 12) se sembró el 20 de junio, en un suelo igual al experimento 1 pero en diferente sitio, Vertisol rúptico perteneciente al grupo CONEAT 10.12, Unidad La Carolina en un suelo (MGAP. DGRNR. CONEAT 1994, MGAP. RENARE 2016).

Descripción general de los experimentos

El cultivo antecesor para las tres situaciones fue soja, se le aplicó 3,5 l/ha de glufosinato de amonio al rastreo el día de la siembra. El cultivo de cobertura (avena negra) se sembró con sembradora experimental Wintersteiger de 6 surcos a 17 cm de distancia entre ellos. Los tratamientos principales consistieron en cinco densidades de siembra (6.25, 12.5, 25, 50, 100), de las cuales la de 50 kg/ha fue considerada la óptima según recomendación técnica, y fue sembrada en la línea o al voleo. Además, se incluyó un testigo sin cobertura (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

	Tratamiento	kg/ha	pl/m ²
1	Avena en línea 1/8 de densidad óptima	6.25	32
2	Avena en línea 1/4 de densidad óptima	12.5	65
3	Avena en línea 1/2 de densidad óptima	25	129
4	Avena en línea densidad óptima	50	258
5	Avena en línea 2 x de densidad óptima	100	516
6	Testigo sin cobertura	0	0
7	Avena al voleo densidad óptima	50	258

A inicio de macollaje se realizó un muestreo de nitrógeno en planta, el resultado se utilizó para fertilizar cada experimento en base al modelo propuesto por Baethgen (1992). En la tabla 2 se observa el resultado y los kg de fertilizante agregados en cada experimento.

Cada tratamiento (parcela principal) se subdividió en dos manejos (subparcela), con y sin aplicación de herbicidas (i.e. control de malezas de hoja ancha). La aplicación de 2.4-D + picloram + metsulfuron fue realizada en periodo de macollaje de la avena, a la totalidad de los tratamientos en la subparcela correspondiente (con herbicida). En la Tabla 3 y la Tabla 4 se detallan los tratamientos herbicidas utilizados, y las condiciones ambientales durante los momentos de aplicación, respectivamente.

Para la terminación del cultivo de cobertura cada subparcela (con o sin aplicación de herbicidas para el control de malezas en otoño) se subdividió a su vez en sub-subparcelas. En las sub-subparcela el cultivo de cobertura fue desecado con una aplicación de herbicida (glifosato + clethodim) o por medio del rolado. Cada sub-subparcela por lo tanto es una combinación factorial del tratamiento (parcela) principal (densidad de siembra de la avena), del manejo de malezas en otoño (con o sin herbicidas, subparcela), y del método de desecado de la avena (químico o rolado, sub-subparcela) (Tabla 3 y Figura 1).

Tabla 2. Análisis de nitrógeno en planta y fertilización

	Porcentaje de nitrógeno en planta	Fertilizante (kg/ha UREA)
Experimento 1	2,29	114
Experimento 2	1,99	140
Experimento 3	3,41	88

Tabla 3. Descripción de los tratamientos químicos

Producto comercial	Ingrediente activo (concentración del producto comercial)	Dosis de producto comercial (ha ⁻¹)	Aplicado en	Momento
DMA dow	2.4-D (540 g/L)	800 cc	Subparcelas con aplicación de herbicidas en otoño	Macollaje de la avena
Tordon 24k	Picloram (240 g/L)	80 cc		
Aliado	Metsulfuron (60%)	5 g		
Panzer gold	Glifosato (480 g/L)	3 L	Sub-subparcelas con desecación química	Desecación de la avena
Clethomax	Clethodim (240g/L)	800 cc		
Panzer gold	Glifosato (480 g/L)	4 L	Desecación de testigos sin cobertura	Desecación de la avena
Clethomax	Clethodim (240g/L)	1000 cc		
Pixxaro	Halauxifen methil (16,2 g/L) + Fluroxipir meptil (250 g/L)	400 cc		

Para las aplicaciones de los herbicidas se utilizó una máquina experimental presurizada con CO₂ y equipada con 4 boquillas AI 110015. Las aplicaciones se realizaron a una presión de 220 kPa y un caudal de 110 L ha⁻¹.

Para el rolado de la cobertura se utilizó un rolo de 1 m de ancho operativo y 300 kg de peso. Las cuchillas tenían 0.5 cm de espesor en la sección de corte y una separación entre sí de 20 cm.

Posterior a la desecación del cultivo de cobertura se sembró soja en los tres experimentos (Tabla 5). El experimento 1 se sembró en directa con una sembradora John Deere de 12 m de ancho operativo, a una densidad de 16 pl m⁻¹ y una distancia entre hileras de 38 cm. El experimento 2 se sembró en directa con una sembradora John Deere de 9 m de ancho operativo a una densidad de 16-17 pl m⁻¹ y 38 cm de distancia entre hileras. El experimento 3 se sembró con una sembradora experimental Hartwich de cuatro surcos, ancho operativo 1,6 m a una densidad de 16-17 pl m⁻¹ y una distancia entre hileras de 40 cm.

Tabla 4. Momentos y condiciones ambientales durante las aplicaciones

Aplicación en macollaje de la avena					
Condiciones ambientales					
	Fecha	Días post-siembra	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Viento (km/h)
Experimento 1	22/6/2018	37	12	61	10
Experimento 2	14/8/2018	61	18	55	2,6
Experimento 3	14/8/2018	55	16	60	2,5

Desecación de la avena					
Condiciones ambientales					
	Fecha	Días post-siembra	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Viento (km/h)
Experimento 1	2/10/2018	139	16,3	43	5
Experimento 2	15/11/2018	154	22	60,1	5
Experimento 3	1/11/2018	134	21	42	5

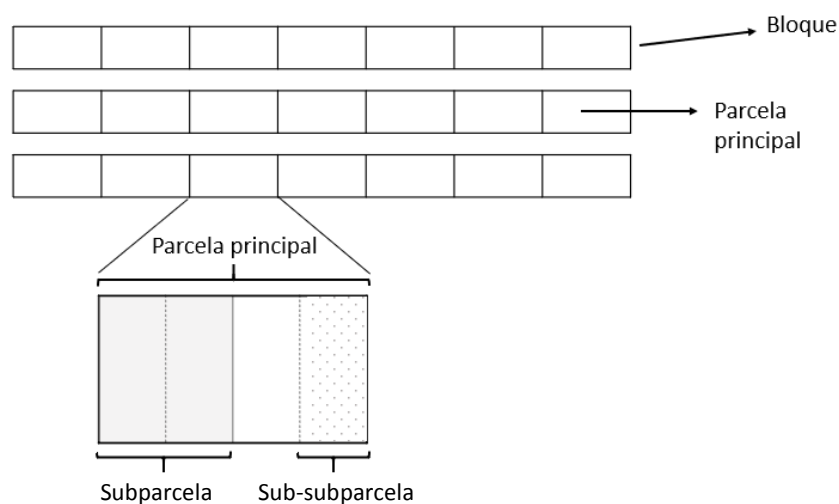


Figura 1. Esquema del diseño experimental.

Tabla 5. Características de las variedades sembradas

	Fecha	Variedad	Grupo de madurez	Hábito de crecimiento
Experimento 1	20/11/2018	DM 6.8 i	VI largo	indeterminado
Experimento 2	21/11/2018	GE 590ci	V largo	indeterminado
Experimento 3	03/12/2018	NS 5419 IPRO	V medio	indeterminado

Diseño experimental

En los tres ensayos, el diseño fue de bloques completos al azar (DBCA) con 3 repeticiones, donde se evaluaron 7 tratamientos (Tabla 1). La unidad experimental consistió en parcelas de 8 m de largo por 5 m de ancho, subdivididas en dos por cada tratamiento con aplicación y sin aplicación y posteriormente cada subparcela dividida nuevamente (diseño split-split plot) en dos métodos de desecación (químico o rolado).

Determinaciones

Desde la emergencia de la avena hasta la implantación del cultivo de soja se realizaron mediciones semanales de NDVI. Se midió el porcentaje de implantación posterior a la siembra del cultivo de cobertura y en el cultivo de verano, contando el número de plantas por metro lineal (Tabla 6). Se determinó también el número de malezas post aplicación de herbicidas en macollaje de la avena, utilizando un cuadro de 0,50 m x 0,50 m al azar 4 veces por tratamiento principal, 2 veces en la subparcela con aplicación y 2 veces en la subparcela sin aplicación. Siguiendo el mismo criterio se efectuaron cortes para analizar composición botánica y estimación de materia seca, previo a la desecación total del cultivo de cobertura. Posteriormente, previo al cierre del entresurco del cultivo de soja, se contó número de malezas en tres líneas de cada subparcela por tratamiento y se contó número de plantas de soja para determinar el porcentaje de implantación (Tabla 6). Durante el mes de mayo se midió el rendimiento de soja cosechando cada sub-subparcela con una cosechadora experimental Wintersteiger.

Análisis de datos

Los datos del experimento fueron analizados usando el módulo de modelos lineales generales y mixtos del programa InfoStat (Di Rienzo et al., 2011). Como estrategia general para analizar los datos se ajustaron modelos con distintas estructuras de covarianza, estructuras de correlación residual, heteroscedasticidad residual y efectos aleatorios. Mediante criterios de verosimilitud penalizada (AIC y BIC) se eligieron los modelos que mejor describieron los datos, y se usaron estos modelos para realizar inferencias acerca de las medias. En el caso del análisis de variables cuyo resultado pudiera estar explicado por la combinación de distintos factores (densidad de siembra de avena, control químico en otoño y método de desecación de la cobertura) se realizó el análisis considerando un diseño en parcelas divididas (Split-split plot).

Resultados y discusión

Mediciones durante el desarrollo del cultivo de cobertura

La cantidad de plantas de avena logradas en cada tratamiento estuvo estrechamente relacionada a la densidad de avena sembrada (Figura 2). Como era también esperable, la cantidad de plantas logradas fue claramente diferente dependiendo el tipo de siembra utilizada. Se duplicaron el número de plantas logradas sembradas en línea con sembradora en comparación a la misma densidad de avena sembrada al voleo.

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) se utiliza normalmente para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. En este trabajo el NDVI se midió semanalmente como forma de estimar de manera relativa la velocidad con que diferentes tratamientos cubrían el suelo (Figura 3; Tabla 7). La interacción entre la localidad y los valores de NDVI fue positiva, por lo cual esta variable se analizó para cada sitio por separado.

Tabla 6. Secuencia de las mediciones experimentales

	Fecha	Días post-siembra	Mediciones en los cultivos	Mediciones en malezas
Experimento 1	22/6/2018	37	Porcentaje de implantación de la avena	–
Experimento 2	29/7/2018	45		–
Experimento 3	7/8/2018	48		–
Experimento 1	31/7/2018	76	–	Número de malezas
Experimento 2	8/10/2018	116		
Experimento 3	4/9/2018	76		
Experimento 1	18/9/2018	125	Composición botánica y producción de biomasa	Composición botánica y producción de biomasa
Experimento 2	6/11/2018	145		
Experimento 3	16/10/2018	118		
Experimento 1	26/12/2018	36	Implantación del cultivo de soja	Número de malezas
Experimento 2	27/12/2018	36		
Experimento 3	27/12/2018	24		
Experimento 1	25/4/2019	156	Cosecha del cultivo de soja	–
Experimento 2	9/5/2019	154		
Experimento 3	25/4/2019	134		

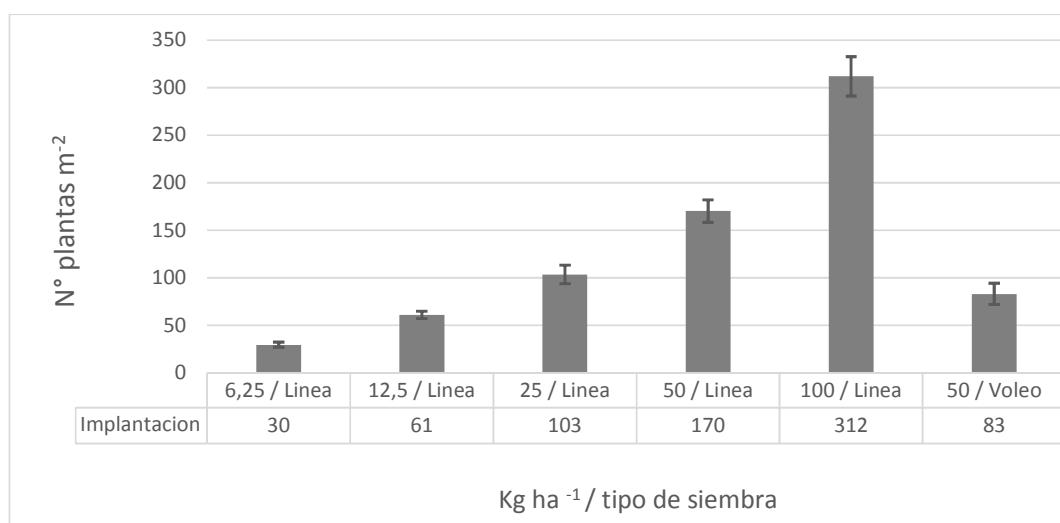


Figura 2. Implantación de avena en función de la densidad y el tipo de siembra. Las barras representan el promedio de cada tratamiento para los tres sitios experimentales con su respectivo error experimental de la media (n = 3 en cada sitio).

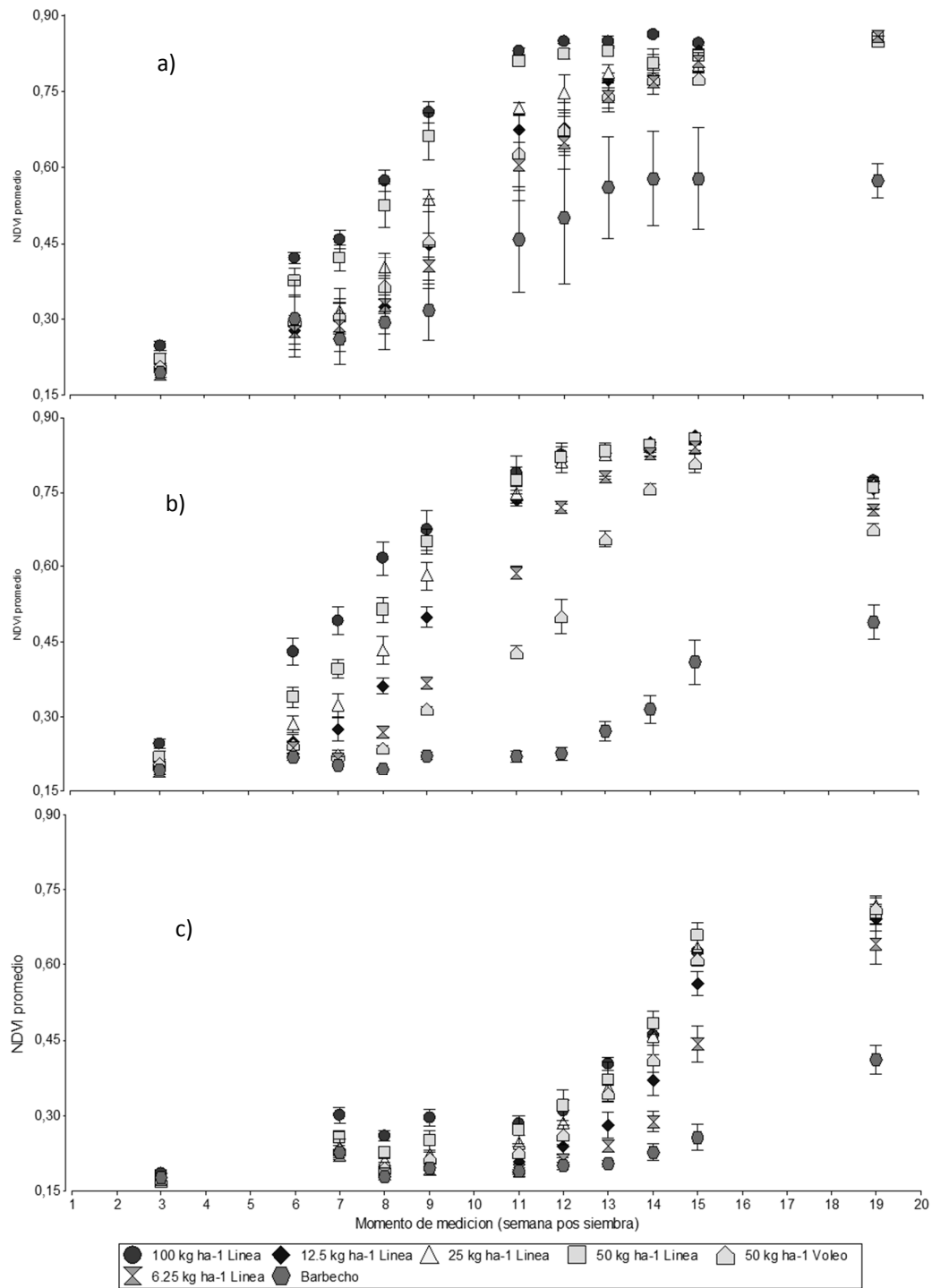


Figura 3. Evolución temporal del NDVI promedio en función de la densidad de avena sembrada en: “Las Delicias” (a), “Ruta 12” (b) y “Ecilda” (c). Cada punto y barra de error corresponde al promedio (n = 3) de la medición en las subparcelas sin aplicación de herbicida al macollaje de la avena.

Tabla 7. NDVI promedio por tratamiento y sitio para diferentes semanas de medición post siembra de avena. Cada valor de NDVI corresponde al promedio (n = 3) de la medición en las subparcelas sin aplicación de herbicida al macollaje de la avena.

	Kg ha ⁻¹ / Tipo de siembra	Semanas post siembra											
		3	6	7	8	9	11						
		----- NDVI promedio -----											
Las Delicias	100 / Linea	0,24	A	0,42	A	0,46	A	0,57	A	0,71	A	0,83	A
	50 / Linea	0,23	A B	0,37	A B	0,42	A	0,52	A	0,66	A	0,81	A B
	25 / Linea	0,21	B C	0,29	B C	0,31	B	0,4	B	0,53	B	0,71	A B C
	12,5 / Linea	0,21	B C	0,28	C	0,3	B	0,32	B C	0,45	B C	0,67	B C
	6,25 / Linea	0,19	C	0,27	C	0,29	B	0,33	B C	0,4	C D	0,6	C
	50 / Voleo	0,2	B C	0,3	B C	0,31	B	0,36	B C	0,45	B C	0,63	C
	Barbecho S/C	0,19	C	0,3	B C	0,26	B	0,29	C	0,32	D	0,46	D
Ruta 12	100 / Linea	0,25	A	0,43	A	0,49	A	0,62	A	0,67	A	0,79	A
	50 / Linea	0,22	B	0,34	B	0,4	B	0,51	B	0,65	A	0,77	A
	25 / Linea	0,21	B C	0,29	C	0,32	C	0,43	C	0,58	B	0,74	A
	12,5 / Linea	0,21	B C	0,25	C D	0,28	C	0,36	D	0,5	C	0,73	A
	6,25 / Linea	0,19	C	0,24	D	0,22	D	0,27	E	0,37	D	0,59	B
	50 / Voleo	0,21	B C	0,25	C D	0,23	D	0,24	E F	0,32	E	0,43	C
	Barbecho S/C	0,19	C	0,22	D	0,2	D	0,2	F	0,22	F	0,22	D
Ecilda	100 / Linea	0,19	A	SD		0,3	A	0,26	A	0,3	A	0,28	A
	50 / Linea	0,17	B	SD		0,26	B	0,23	B	0,25	B	0,27	A B
	25 / Linea	0,17	B	SD		0,24	B C	0,21	B C	0,22	C	0,25	B C
	12,5 / Linea	0,18	A B	SD		0,23	B C	0,2	C D	0,21	C D	0,21	D E
	6,25 / Linea	0,17	B	SD		0,22	C	0,18	D	0,19	D	0,19	E
	50 / Voleo	0,17	B	SD		0,23	B C	0,2	C D	0,22	C D	0,23	C D
	Barbecho S/C	0,18	A B	SD		0,23	C	0,18	D	0,2	D	0,19	E

SD = sin dato

Valores para cada sitio que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente (p<0,05) según el test de Fisher.

Tabla 7. (Cont.) NDVI promedio por tratamiento y sitio para diferentes semanas de medición post siembra de avena. Cada valor de NDVI corresponde al promedio (n = 3) de la medición en las subparcelas sin aplicación de herbicida al macollaje de la avena.

	Kg ha ⁻¹ / Tipo de siembra	Semanas post siembra																		
		12		13		14		15		19										
		NDVI promedio																		
Las Delicias	100 / Linea	0,85	A			0,85	A			0,86	A			0,84	A			0,86	A	
	50 / Linea	0,82	A	B		0,83	A			0,8	A			0,82	A			0,85	A	
	25 / Linea	0,74	A	B	C	0,78	A			0,8	A			0,8	A			0,85	A	
	12,5 / Linea	0,68		B	C	0,77	A			0,8	A			0,83	A			0,86	A	
	6,25 / Linea	0,65			C	0,74	A			0,77	A			0,81	A			0,86	A	
	50 / Voleo	0,67			C	0,74	A			0,77	A			0,77	A			0,85	A	
	Barbecho S/C	0,5			D	0,56	B			0,58	B			0,58	B			0,57	B	
Ruta 12	100 / Linea	0,82	A			0,83	A			0,84	A			0,85	A			0,77	A	
	50 / Linea	0,82	A			0,83	A			0,84	A			0,86	A			0,76	A	B
	25 / Linea	0,81	A			0,82	A			0,84	A			0,86	A			0,76	A	B
	12,5 / Linea	0,81	A			0,83	A			0,85	A			0,86	A			0,75	A	B
	6,25 / Linea	0,72		B		0,78	B			0,82	A			0,84	A			0,71	B	C
	50 / Voleo	0,5			C	0,65		C		0,75	B			0,81	A			0,67		C
	Barbecho S/C	0,23			D	0,27		D		0,32		C		0,41	B			0,49		D
Ecilda	100 / Linea	0,31	A			0,4	A			0,46	A			0,63	A			0,7	A	
	50 / Linea	0,32	A			0,37	A	B		0,48	A			0,66	A			0,7	A	
	25 / Linea	0,29	A	B		0,35	B			0,46	A			0,63	A			0,72	A	
	12,5 / Linea	0,24		B	C	0,28		C		0,37	B			0,56	B			0,69	A	B
	6,25 / Linea	0,21			C	0,24		C	D	0,29		C		0,44		C		0,64	B	
	50 / Voleo	0,26		B		0,35	B			0,41	B			0,61	A	B		0,71	A	
	Barbecho S/C	0,2			C	0,21			D	0,23			D	0,26			D	0,41		C

Valores para cada sitio que presentan letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

Hubo claras diferencias en la velocidad con que algunos tratamientos cubrieron el suelo, especialmente en el periodo comprendido entre la semana 6 y 11 después de la siembra de la avena (Tabla 7 y Figura 3). En líneas generales los tratamientos de 50 y 100 kg ha⁻¹ de avena fueron los que cubrieron el suelo más rápido. El tratamiento de 25 kg ha⁻¹ evoluciono de manera similar a los tratamientos de mayores densidades, aunque por lo general cubrió el suelo un poco más lento que estos. El resto de los tratamientos cubrieron el suelo de manera más lenta que los antes mencionados y en general con un comportamiento más errático. Excepto para Ecilda, en los otros sitios la cobertura del suelo de todos los tratamientos con siembra se diferenció del testigo enmalezado a partir de la semana 11 (Tabla 7). Los datos de análisis de nitratos (Tabla 2) y la respuesta al agregado de nitrógeno en Ecilda sugieren que la falta de este nutriente impidió que la diferencia entre tratamientos se expresara en las primeras semanas como sucedió en los otros dos sitios.

Previo a que los tratamientos de mayor densidad cubrieran completamente el surco en cada sitio, se contó el número de malezas en cada tratamiento en las subparcelas que no habían recibido herbicida al macollaje de la avena. No se encontraron diferencias en la densidad de malezas que germinaron al momento de la medición, que pudieran ser claramente explicadas por la densidad de avena. En la Figura 4 se resume, por tratamiento, el promedio de malezas totales y el promedio de individuos de las dos especies más frecuentes para cada sitio.

Sin embargo, en la etapa de encañado, sí hubo diferencias en el control de malezas (medida como biomasa aérea) en respuesta a las diferentes densidades de avena. El análisis estadístico, indico que para la variable biomasa total de malezas, no hubo interacción entre el sitio y los tratamientos ($p = 0.3258$) por lo cual los datos de biomasa fueron promediados para los tres sitios. Todos los tratamientos se diferenciaron del testigo sin siembra de cobertura. La biomasa total de malezas fue reducida al menos 66% por la siembra del cultivo de cobertura (Tabla 8) con respecto al testigo. Si bien no todos los tratamientos se diferenciaron entre sí, en líneas generales los tratamientos de mayor densidad de avena restringieron más el desarrollo de las malezas que los tratamientos con baja densidad de avena o el tratamiento donde la avena fue sembrada al voleo.

Conyza y raigrás son dos de las malezas más importantes en nuestros sistemas agrícolas por lo cual se intentaron analizar individualmente. *Conyza* fue muy sensible a la competencia, incluso a densidades bajas de avena (Tabla 9). La respuesta de raigrás a la competencia solo pudo ser analizada para un sitio (Las Delicias). El tratamiento de la densidad menor (6.25 kg avena ha⁻¹), fue el único que no restringió el desarrollo de raigrás respecto al testigo. El resto de los tratamientos tuvieron un efecto supresor sobre el desarrollo del raigrás, solo diferenciándose el mayor efecto de los tratamientos de 25 y 100 kg avena ha⁻¹ con respecto al de 6.25 kg avena ha⁻¹.

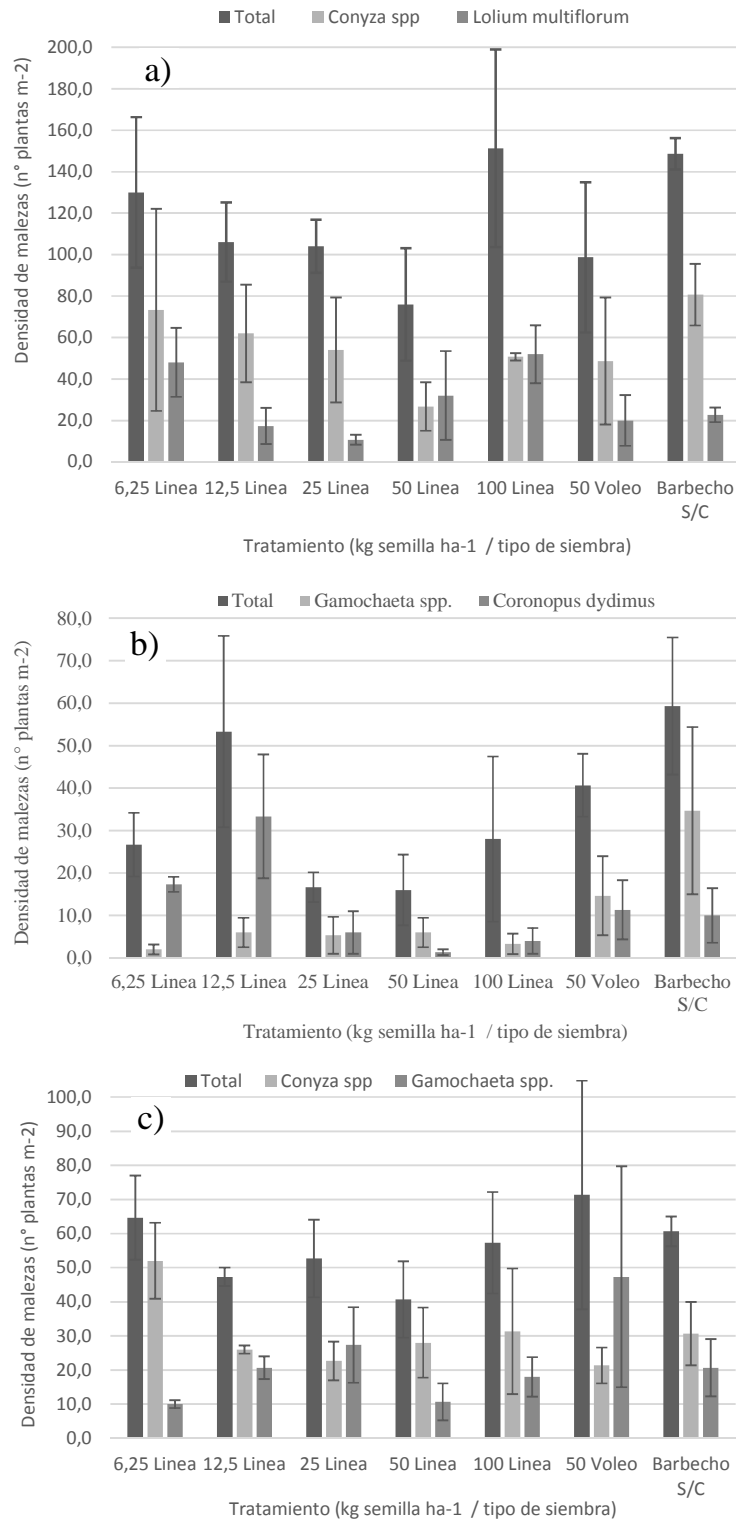


Figura 4. Densidad de malezas promedio según la densidad de semilla de avena sembrada en: “Las Delicias” (a), “Ruta 12” (b) y “Ecilda” (c). Cada barra con su correspondiente barra de error experimental de la media corresponde al promedio (n = 3) del total de malezas y de las dos especies con mayor frecuencia en cada sitio. La medición se realizó en las subparcelas sin aplicación de herbicida al macollaje de la avena.

Tabla 8. Biomasa aérea de malezas según la densidad de semilla de avena sembrada. Los valores corresponden al promedio de los tres sitios. La medición se realizó en las subparcelas sin aplicación de herbicida al macollaje de la avena.

Tratamiento (Kg ha ⁻¹ avena / tipo de siembra)	Biomasa aérea		Biomasa aérea de malezas relativa al testigo sin cobertura
	--kg MS ha ⁻¹ --		%
Barbecho S/C	2014	A	100
6,25 / Línea	680	B	34
50 / Voleo	535	B C	26
12,5 / Línea	351	B C D	17
50 / Línea	271	C D	13
25 / Línea	161	D	8
100 / Línea	153	D	8

Valores seguidos de letras diferentes, difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

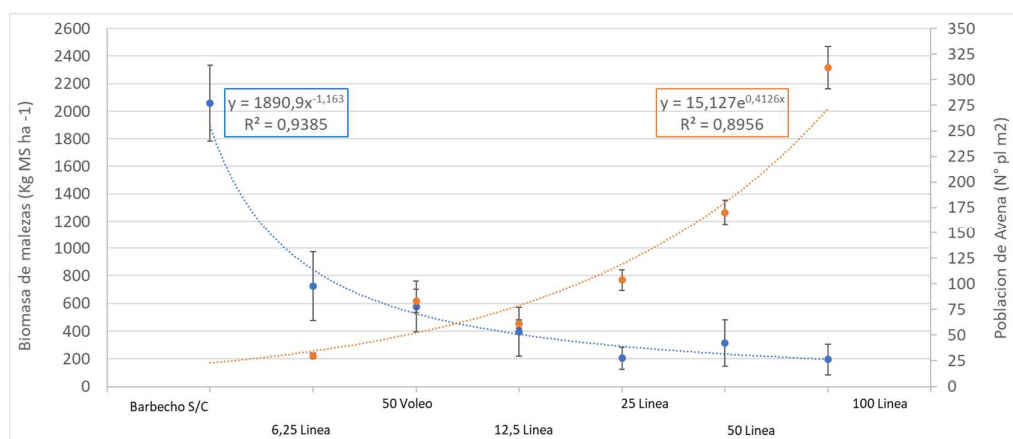


Figura 5. Biomasa de malezas y población de avena lograda en función de la densidad de semilla de avena sembrada. Cada punto (azul = biomasa de malezas y naranja = población de avena) con su correspondiente barra de error experimental de la media corresponde al promedio ($n = 9$) para los tres sitios tomados en conjunto. La medición se realizó en las subparcelas sin aplicación de herbicida al macollaje de la avena.

Tomando los datos promedio para los tres sitios, la reducción máxima de malezas se lograría con densidades de siembra mayores a 25 kg ha⁻¹ de avena. La extrapolación de las funciones graficadas en la Figura 5 sugiere que logrando entre 140 y 160 pl m⁻² se reduciría en más de 80% la biomasa de malezas solo por el efecto de competencia del cultivo de cobertura (i.e. sin el uso de herbicidas). En términos prácticos y con lotes de semilla de avena negra con buen poder germinativo este número de plantas se lograría con densidades de siembra entorno a los 40 kg ha⁻¹.

Tabla 9. Biomasa aérea de avena, raigrás anual y conyza según la densidad de semilla de avena sembrada para cada sitio. La medición se realizó en las subparcelas sin aplicación de herbicida al macollaje de la avena.

Tratamiento (Kg ha ⁻¹ Avena / Tipo de siembra)	Sitio													
	Las Delicias						Ruta 12			Ecilda				
	Avena		Raigrás		Conyza		Avena	Raigrás	Conyza	Avena	Raigrás	Conyza		
	----- kg MS ha ⁻¹ -----													
6,25 / Línea	2675	B	1394	A B	9	B	8328	A	201	0	5231	-	53	B
12,5 / Línea	4368	A B	832	B C	2	B	8341	A	42	0	5276	-	37	B
25 / Línea	4716	A	262	C	3	B	7765	A	0	0	5507	-	12	B
50 / Línea	4574	A B	673	B C	2	B	8542	A	0	0	6289	-	30	B
100 / Línea	5148	A	266	C	2	B	8320	A	0	0	5780	-	10	B
50 / Voleo	3487	A B	813	B C	3	B	5119	B	397	13	5964	-	17	B
Barbecho S/C	-		2029	A	81	A	-		440	18	-		549	A

Valores seguidos por letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

Mediciones durante el desarrollo del cultivo de soja posterior al cultivo de cobertura

Tabla 10. Resultado de las pruebas de hipótesis secuenciales para el modelo lineal utilizado para análisis de la población lograda de soja (pl ha⁻¹). Análisis conjunto de los 3 sitios experimentales.

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	196	2105,99	<0,0001
Tratamiento (Kg ha y Siembra)	6	12	1,82	0,1782
Control Químico Otoño	1	14	2,93	0,1089
Desecación	1	196	2,10	0,1490
Tratamiento*Control Quimico Otoño	6	6	0,84	0,5586
Tratamiento*Desecación	6	196	0,99	0,4307
Control Químico Otoño*Desecación	1	1	0,45	0,5034
Tratamiento*Control Quim*Desecación	6	6	0,58	0,7452

Aproximadamente 30 días después de la siembra en cada sitio se midió la implantación de la soja. No hubo diferencias en la población de soja lograda independientemente de la densidad de avena sembrada, el control de malezas realizado durante el otoño, y el método de desecación utilizado para matar la cobertura (Tabla 10). En la Figura 5 se resumen los datos de la población de soja estimada a partir de cada una de las sub-subparcelas que contemplaban la interacción de los tres factores estudiados (densidad de siembra de avena, control químico en otoño y método de desecación de la cobertura). Como se aprecia en la figura, la variabilidad medida no fue adjudicada al efecto de ninguno de los factores en estudio.

Treinta días después de la siembra de soja también se determinó la densidad de malezas en cada uno de los tratamientos. Las diferencias en esta variable fueron principalmente explicadas por el tratamiento principal (densidad de siembra de la avena, $p = 0.0097$) y por la interacción entre el control químico durante el cultivo de avena y el método de desecación de este ($p = 0.0195$).

El número de malezas durante el cultivo de soja fue notoriamente menor en los tratamientos de avena sembrados en línea a alta densidad (25, 50 y 100 Kg ha⁻¹) que en el tratamiento testigo (sin cobertura) y en los tratamientos de 6.25 kg ha⁻¹ sembrado en línea y de 50 kg ha⁻¹ sembrado al voleo (Figura 6). La densidad de malezas en la soja sembrada sobre el tratamiento de 12.5 kg ha⁻¹ sembrado en línea fue intermedia entre los dos grupos antes mencionados diferenciándose estadísticamente solo del tratamiento de mayor densidad de avena. El número de malezas durante la fase inicial del cultivo de soja se redujo en promedio entre 68 y 74% por el efecto de la cobertura lograda en invierno con 25 y 50 kg ha⁻¹ de avena sembrada en la línea, respectivamente (comparación de estos tratamientos contra el testigo sin cobertura; Figura 6).

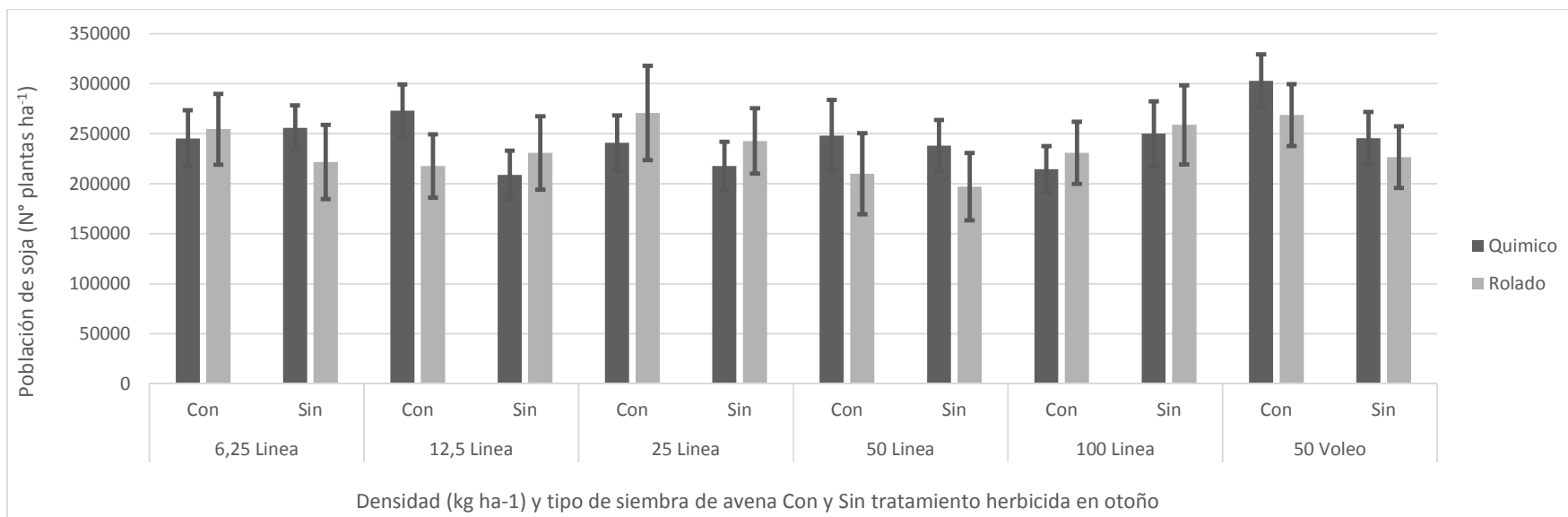


Figura 5. Implantación de soja en función de la densidad y el tipo de siembra de avena durante el otoño, el control de malezas de hoja ancha durante el cultivo de avena (Con vs. Sin) y el método de desecación de la cobertura de avena (Rolado vs. Químico). Las barras representan el promedio de cada sub sub-parcela para los tres sitios experimentales con su respectivo error experimental de la media (n = 3 en cada sitio).

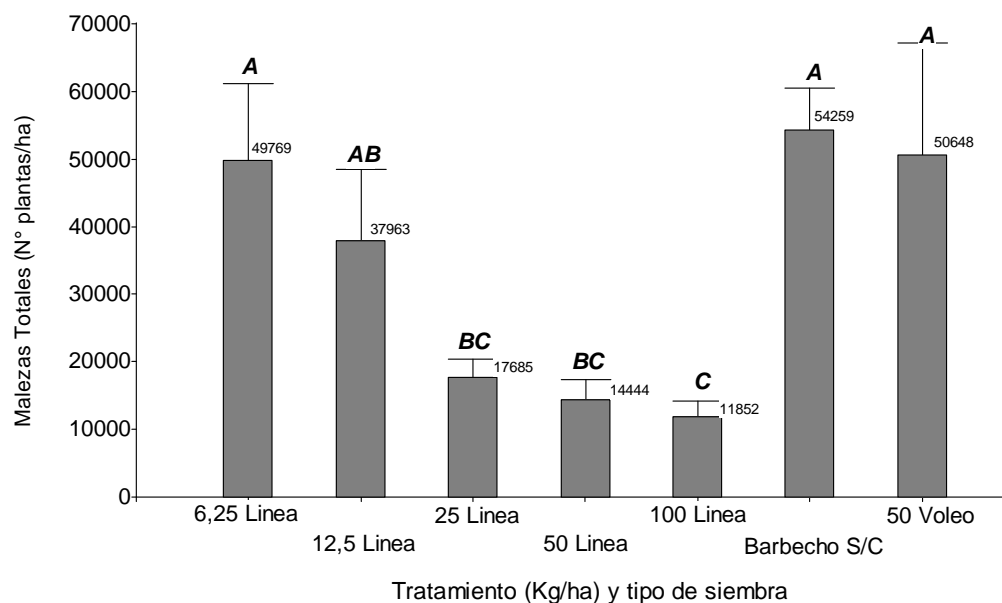


Figura 6. Densidad de malezas 30 días luego de la siembra del cultivo de soja en función de la densidad y el tipo de siembra del cultivo de cobertura. Las barras representan el promedio total del tratamiento principal en los tres sitios experimentales con su respectivo error experimental de la media ($n = 3$ en cada sitio). Barras con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

El número de malezas durante la fase inicial del cultivo de soja también fue afectado por la interacción entre el control químico durante el cultivo de avena y el método de desecación utilizado. El tratamiento donde no se realizó control de malezas durante la cobertura y fue desecado químicamente previo a la siembra de soja fue el que presentó mayor densidad de malezas en la fase inicial del cultivo de soja (Figura 7). En los tratamientos sin uso de herbicida durante el cultivo de cobertura, el rolado de esta determinó una reducción en la densidad de malezas de aproximadamente un 40% en comparación con los tratamientos desecados utilizando herbicidas. Entre los tratamientos que recibieron un control de malezas durante el cultivo de cobertura la densidad de malezas totales no fue diferente entre los tratamientos desecados químicamente o utilizando el rolo.

Además del análisis que se realizó para la densidad total de malezas también se determinó específicamente la densidad de *Conyza* spp. (conyza) y *Echinochloa* spp. (echinochloa), malezas actualmente problemáticas de nuestros sistemas agrícolas, que se repitieron en los tres sitios experimentales. Dentro del género *Conyza* spp. se agruparon *Conyza sumatrensis* y *C. bonariensis*; y dentro del género *Echinochloa* spp., *Echinochloa cruz-galli* y *E. colona*, respectivamente, pero los datos se presentan a nivel de género por la dificultad de identificar confiablemente a campo cada especie en estado de plántula.

Dentro de la población de conyza había plantas de diferentes estratos de edades, debido a los flujos de emergencia otoñales y primaverales que tienen estas especies. Las diferencias en densidad de conyza fueron explicadas por los mismos factores que explicaron la densidad de la población total de malezas. Las densidades de siembra mayores del cultivo de cobertura (50 y 100 Kg ha^{-1}) determinaron que hubiera menos conyza en estos tratamientos en comparación con los tratamientos de 6,25 kg ha^{-1} sembrado en línea y de 50 kg ha^{-1} sembrado al voleo (Figura 8). Si bien en comparación con los tratamientos sin cobertura y de 12,5 kg ha^{-1} sembrado en línea, la diferencia estadística no fue significativa, también hay una clara tendencia a la disminución de

conyza al inicio del cultivo de soja, en los tratamientos con mayores poblaciones del cultivo de cobertura durante el invierno.

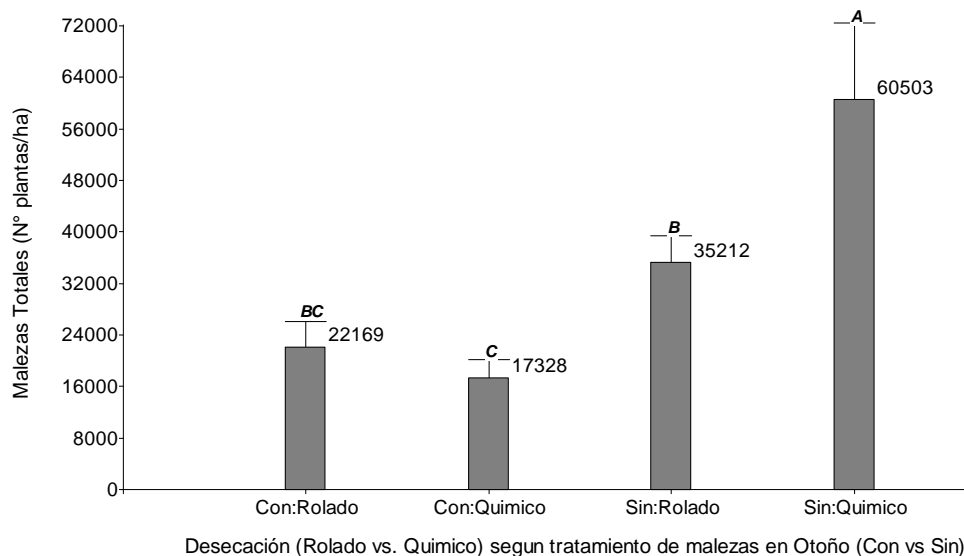


Figura 7. Densidad de malezas 30 días luego de la siembra del cultivo de soja en función del control de malezas de hoja ancha durante el cultivo de cobertura (Con vs. Sin) y el método de desecación de la cobertura (Químico vs. Rolado). Las barras representan el valor promedio de las sub-subparcelas (interacción entre el control químico de otoño y el método de desecación de la cobertura) en los tres sitios experimentales con su respectivo error experimental de la media ($n = 3$ en cada sitio). Barras con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

La población de conyza al inicio del cultivo de soja también respondió al control que se realizó durante el cultivo de cobertura y al método de desecación que se usó en este (interacción $p = 0.0392$). Los tratamientos donde no se realizó control de malezas durante el cultivo de cobertura y se utilizó herbicida para desecar la avena (Sin:Químico) fueron los que presentaron las mayores densidades de conyza. La desecación de la avena utilizando el método de rolado (Sin:Rolado) redujo la población de conyza en 44% en promedio. Los tratamientos que recibieron un control de malezas de hoja ancha durante el ciclo de la cobertura presentaron claramente menores densidades de conyza sin importar si la desecación se realizó con herbicidas o por medio del rolado (Figura 9).

La germinación de echinochloa fue claramente afectada por el efecto del rolado, siendo este el único factor que explicó la diferencia en las densidades de esta maleza entre tratamientos ($p = 0.010$). Los tratamientos donde la cobertura se desecó utilizando el método de rolado presentaron en promedio una reducción de más de 70% en la densidad de echinochloa observada (Tabla 11).

Los efectos de los tratamientos sobre el cultivo de cobertura antecesor al cultivo de soja tuvieron poco efecto sobre el rendimiento de este último. La desecación total del cultivo de cobertura se logró tanto con el control químico como con el rolado. Sin embargo, la avena negra rolada demoró en promedio 14 días más en desecarse completamente en comparación con la que recibió el tratamiento químico. Tomado en conjunto los tres sitios experimentales el rendimiento final de soja solo fue afectado por la interacción entre el control químico en otoño y el método de desecación ($p = 0.0189$), pero la magnitud de este efecto fue baja (Tabla 12). Los tratamientos donde se realizó un control de malezas de hoja ancha durante la cobertura y donde luego esa cobertura se desecó con herbicidas rindieron en promedio más que el resto. Sin embargo, la

diferencia promedio con los tratamientos que no recibieron control de malezas durante la cobertura y fueron desecados por medio del rolado fue de solo un 5%.

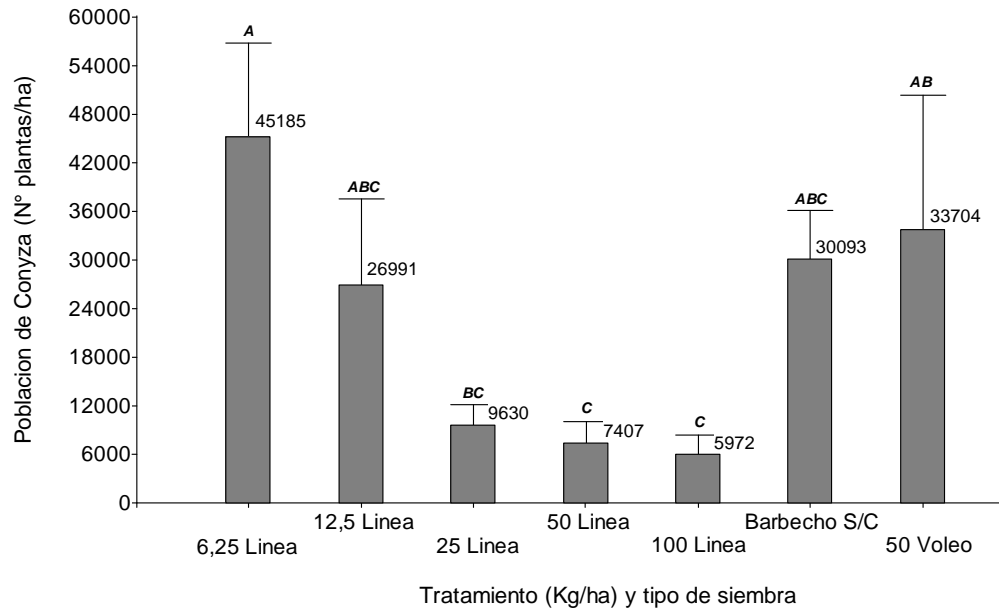


Figura 8. Densidad de *Conyza* spp. 30 días luego de la siembra del cultivo de soja en función de la densidad y el tipo de siembra del cultivo de cobertura. Las barras representan el promedio total del tratamiento principal en los tres sitios experimentales con su respectivo error experimental de la media (n = 3 en cada sitio). Barras con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

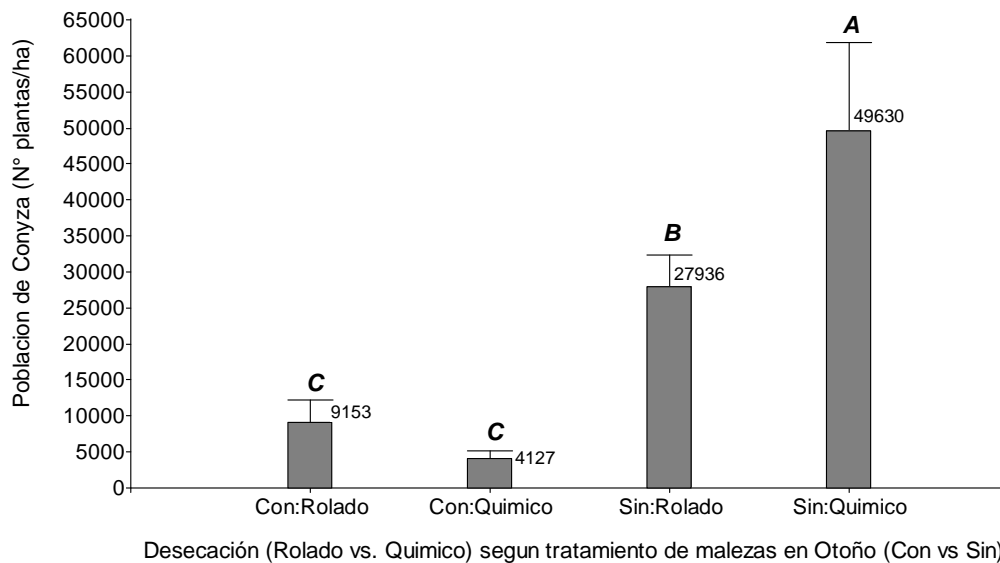


Figura 9. Densidad de *Conyza* spp. 30 días luego de la siembra del cultivo de soja en función del control de malezas de hoja ancha durante el cultivo de cobertura (Con vs. Sin) y el método de desecación de la cobertura (Químico vs. Rolado). Las barras representan el valor promedio de las sub-subparcelas (interacción entre el control químico de otoño y el método de desecación de la

cobertura) en los tres sitios experimentales con su respectivo error experimental de la media (n = 3 en cada sitio). Barras con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

Tabla 11. Población promedio de echinocloa al inicio del cultivo de soja según el método de desecación utilizado en la cobertura.

Desecación	Medias (N° pl ha ⁻¹)
Químico	4299 A
Rolado	1230 B

Valores seguidos por letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

Tabla 12. Rendimiento promedio del cultivo de soja (medias ajustadas y error estándar de la media) según el control de malezas de hoja ancha durante el cultivo de cobertura (Con vs. Sin) y el método de desecación de la cobertura (Químico vs. Rolado).

Control Químico en Otoño	Desecación	Medias
Con	Químico	4179 A
Sin	Rolado	3948 B
Con	Rolado	3923 B
Sin	Químico	3888 B

Valores seguidos por letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$) según el test de Fisher.

Tabla 13. Coeficiente de impacto ambiental (EIQ) estimado de tratamientos herbicidas normalmente utilizados para el manejo y la desecación de coberturas invernales de gramíneas en Uruguay

Herbicida (i.a.)	Rango de dosis (g ha ⁻¹)	EIQ ¹ dosis baja	EIQ dosis alta	Momento y estado de la cobertura
2.4-D	430 - 648	6.8	10.2	Control de malezas en otoño en función del estado de la cobertura ²
Picloram	19 - 24	0.3	0.4	
Metsulfuron	3 - 6	0	0.1	
Glifosato	1440 - 2160	18.9	25.2	Desecado de una cobertura adecuada ³
Clethodim	192 - 240	2.8	3.5	
Glifosato	1440 - 2160	18.9	25.2	Desecado de una mala cobertura o un barbecho sin cobertura ⁴
Clethodim	192 - 240	2.8	3.5	
Halauxifen	5 - 6.5	-	-	
Fluroxipir	75 - 100	2.3	3	
Paraquat	400 - 600	10.6	15.9	

¹ EIQs calculados usando el sitio web de la Universidad de Cornell (Eshenaur et al, 2015)

² Dosis bajas en coberturas densas bien implantadas y dosis altas en coberturas inadecuadas con mayor proliferación de malezas.

³ Se asume una adecuada cobertura de gramíneas con baja infestación de malezas de hoja ancha al final del ciclo.

⁴ Se asume una alta infestación de malezas gramíneas y de hoja ancha con gran desarrollo al momento de la desecación.

Potencial de reducción del impacto ambiental utilizando una cobertura adecuada, el rolado para desecación de esta, y el uso estratégico de herbicidas.

La humedad y las fluctuaciones de temperatura del suelo, así como la cantidad y calidad de luz que atraviesa el canopeo, son influenciados por los residuos de CC (Putnam y Defrank 1983, García Prechac 1992, Teasdale y Mohler 1993a). Estos, factores pueden inhibir la germinación, afectando la emergencia y crecimiento de malezas (Putnam y Defrank 1983, Teasdale y Mohler 1993a). Una capa gruesa de rastrojo en superficie no solo inhibiría la emergencia al reducir la luz a un nivel por debajo del punto de compensación, sino que también provee una barrera física (Teasdale y Mohler 1993a, Theisen et al. 2000, Martins et al. 2016), que debe ser superada antes de agotar las reservas energéticas de la semilla (Teasdale y Mohler, 1993a).

Tomados en conjunto, los resultados de estos experimentos indican que el uso integrado de una cobertura bien implantada, la desecación mecánica de la misma utilizando un rolo y el uso estratégico de herbicidas a bajas dosis posibilitan una reducción de uso de herbicidas o una utilización más eficiente de estos, sin perjuicio de lograr un excelente manejo de malezas y un excelente desarrollo y rendimiento del cultivo de soja.

El coeficiente de impacto ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés), es uno de los indicadores desarrollados para determinar el impacto ambiental de los pesticidas más usados en agricultura y horticultura (Kovach et al, 1992). Para evaluar relativamente la reducción potencial del impacto ambiental debido exclusivamente del uso de herbicidas se calcularon los EIQs derivados de diferentes escenarios representados por algunos tratamientos en los ensayos realizados (Tablas 13 y 14):

Escenario 1: cultivo de cobertura gramínea mal implantado, con baja densidad de plantas o barbecho con cobertura de vegetación espontanea, sin aplicación de herbicidas para control de malezas de hoja ancha en otoño y desecación con dosis altas de herbicidas para control de malezas con gran desarrollo previo a la siembra de soja.

Escenario 2: cultivo de cobertura gramínea bien implantado a una densidad optima, con aplicación de bajas dosis de herbicidas para control de malezas de hoja ancha en otoño y desecación con dosis bajas de herbicidas.

Escenario 3: cultivo de cobertura gramínea bien implantado a una densidad optima, con aplicación de bajas dosis de herbicidas para control de malezas de hoja ancha en otoño y desecación por rolado.

Tabla 14. Coeficientes de impacto ambiental (EIQ) estimados para diferentes escenarios derivados de los tratamientos experimentales evaluados

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Intervención	----- EIQ -----		
Control en cobertura	0	7.1	7.1
Desecación	39.3	21.7	0
Total	39.3	28.8	7.1
% respecto al Escenario 1	100	73	18

El control cultural ejercido por una buena cobertura invernal permitió reducir el EIQ en más de 25% (Escenario 1 vs Escenario 2). Además, la desecación de una buena cobertura utilizando el rolado permitió prescindir de la aplicación de herbicidas reduciendo el EIQ en más de un 80% (Escenario 1 vs Escenario 3) (Tabla 14)

Tabla 15. Resumen de la cantidad de herbicidas utilizados y estimación económica para diferentes escenarios donde el cultivo de cobertura fue sembrado al voleo.

	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Herbicida ² / Labor / Semilla	g i.a. ha ⁻¹	Costo (US\$ ha ⁻¹)	Herbicida / Labor / Semilla	g i.a. ha ⁻¹	Costo (US\$ ha ⁻¹)	Herbicida / Labor / Semilla	g i.a. ha ⁻¹	Costo (US\$ ha ⁻¹)
Siembra de la cobertura ¹	Siembra voleo		17	Siembra voleo		17	Siembra voleo		17
	Avena Negra (20 kg ha ⁻¹)		17	Avena Negra (30 kg ha ⁻¹)		26	Avena Negra (50 kg ha ⁻¹)		42,28
Control en cobertura	2.4-D	-	-	2.4-D	432	3,23	2.4-D	432	3,23
	Picloram	-	-	Picloram	19	2,3	Picloram	19	2,3
	Metsulfuron	-	-	Metsulfuron	3	0,08	Metsulfuron	3	0,08
	Aplicación	-	-	Aplicación	-	10	Aplicación	-	10
Desección	Glifosato	1920	18,8	Glifosato	1440	14,1	Rolado ³		18,3
	Clethodim	240	12,2	Clethodim	192	9,8			
	Halauxifen	8	17,5	Aplicación	-	10			
	Fluroxipir	125							
	Paraquat	500	16,25						
	Aplicación	-	20						
Total		2793	119		2086	101		454	93
% respecto al Escenario 1		100	100		75	85		16	78

¹Precios estimados de costos de cultivos de pasturas 2019 de SOFOVAL: <http://www.sofoval.com/costos-de-pasturas-2018/>

²Precios de herbicidas tomados de las compras efectuadas en INIA LE

³Precio del rolado (estimado como rastra de dientes) y de la aplicación de herbicidas tomados de precios sugeridos de labores agrícolas de la CUSA: <http://www.cusa.org.uy/cusa/sites/default/files/Labores%20Agricolas%20Agosto%202019.pdf>

Tabla 16. Resumen de la cantidad de herbicidas utilizados y estimación económica para diferentes escenarios donde el cultivo de cobertura fue sembrado en la línea.

	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Herbicida / Labor / Semilla	g i.a. ha ⁻¹	Costo (US\$ ha ⁻¹)	Herbicida / Labor / Semilla	g i.a. ha ⁻¹	Costo (US\$ ha ⁻¹)	Herbicida / Labor / Semilla	g i.a. ha ⁻¹	Costo (US\$ ha ⁻¹)
Reseteo de la chacra previo a la siembra de la cobertura	Glufosinato de amonio	-	-	Glufosinato de amonio	600	43,8	Glufosinato de amonio	600	43,8
	Aplicación	-	-	Aplicación	-	10	Aplicación	-	10
Siembra de la cobertura	Siembra en línea	-	60	Siembra en línea	-	60	Siembra en línea	-	60
	Avena Negra (15 kg ha ⁻¹)	-	12,75	Avena Negra (20 kg ha ⁻¹)	-	17	Avena Negra (40 kg ha ⁻¹)	-	34
Control en cobertura	2.4-D	-	-	2.4-D	432	3,23	2.4-D	-	-
	Picloram	-	-	Picloram	19	2,3	Picloram	-	-
	Metsulfuron	-	-	Metsulfuron	3	0,08	Metsulfuron	-	-
	Aplicación	-	-	Aplicación	-	10	Aplicación	-	-
Desecación	Glifosato	1920	18,8	Glifosato	1440	14,1	Rolado	-	18,3
	Clethodim	240	12,2	Clethodim	192	9,8			
	Halauxifen	8	17,5	Aplicación	-	10			
	Fluroxipir	125							
	Paraquat	500	16,25						
	Aplicación	-	20						
Total		2793	158		2686	180		600	166
% respecto al Escenario 1		100	100		96	114		21	105

¹Precios estimados de costos de cultivos de pasturas 2019 de SOFOVAL: <http://www.sfoval.com/costos-de-pasturas-2018/>

²Precios de herbicidas tomados de las compras efectuadas en INIA LE

³Precio del rolado (estimado como rastra de dientes) y de la aplicación de herbicidas tomados de precios sugeridos de labores agrícolas de la CUSA: <http://www.cusa.org.uy/cusa/sites/default/files/Labores%20Agricolas%20Agosto%202019.pdf>

En las tablas 15 y 16 se resumen manejos y costos estimados para diferentes escenarios derivados de los tratamientos experimentales evaluados y en función de los resultados obtenidos. Si bien los parámetros productivos y económicos pueden variar por la combinación de diferentes manejos los resultados refrendan sólidamente la importancia de realizar un buen cultivo de cobertura. El hecho de no sembrar un cultivo de cobertura o sembrar una cobertura de mala calidad determina que la alta densidad de malezas de gran desarrollo requiera altas dosis de herbicidas en mezcla y generalmente una aplicación de lo que se conoce como doble golpe (dos pasadas secuenciales de herbicidas con pocos días de diferencia). Al mejorar la competitividad del cultivo de cobertura y usar estratégicamente dosis adecuadas de herbicidas (Escenarios 2 y 3, Tablas 15 y 16), se logra limitar el crecimiento de malezas, y por ende también se logra reducir la cantidad de ingrediente activo de herbicidas necesario para controlarlas adecuadamente (Tablas 9, 14, 15 y 16). Adicionalmente, la utilización del rolo (Escenario 3) permite reducir la utilización de herbicidas al mínimo comparado a los otros escenarios. Además de desecar mecánicamente la avena, la disposición del rastrojo luego del rolado es más eficaz en la disminución de la instalación de malezas estivales (Tabla 11). El ejercicio económico realizado sugiere que explotar el control cultural a través de la realización de un adecuado cultivo de cobertura permite incluso ahorrar en costos (Tabla 15).

Consideraciones Finales

Los tratamientos de mayores densidades sembradas de avena (50 y 100 kg ha⁻¹) fueron los que cubrieron el suelo más rápido. Inicialmente esto no se tradujo en un efecto supresor de la germinación de malezas en el otoño ya que al momento del cierre del surco de los tratamientos de mayor densidad no había diferencias en esta variable entre tratamientos. Sin embargo, al final del ciclo de la cobertura la biomasa de malezas fue reducida en más de un 85% solo por el efecto de la competencia de la avena en las densidades de 25, 50 y 100 kg ha⁻¹. Los datos de estos experimentos también indican que la interferencia de malezas problemáticas como conyza y raigrás puede reducirse de manera importante por el efecto de un cultivo de cobertura adecuado.

La implantación de soja no fue afectada por ninguno de los tratamientos evaluados, incluyendo el efecto del rolado sobre el cultivo de avena.

La densidad a la cual fue sembrado el cultivo de cobertura afectó el grado de enmalezamiento en el cultivo de soja posterior a la cobertura. La avena sembrada a densidades de 25 kg ha⁻¹ o superiores tuvo un efecto de control de malezas “residual” en la fase inicial del cultivo de soja, reduciendo la población de malezas en al menos 70%.

Los resultados de este trabajo indican que el rolado es una herramienta efectiva para la desecación de avena y el control de malezas, y que es posible utilizarla sin afectar el desarrollo ni el rendimiento del cultivo posterior de soja. Particularmente importante fue el efecto del rolado sobre la germinación y desarrollo inicial de *Echinochloa* spp. una especie cada vez más problemática en cultivos de verano en nuestros sistemas.

El uso adecuado de cultivos de cobertura, y el uso estratégico de herbicidas y rolado permitirían reducir la carga de herbicidas de los sistemas agrícolas de Uruguay, sin que ello implique un aumento en los costos, ni disminución significativa en la producción del cultivo de soja.

El rolado constituye, por ende, una herramienta prometedora para contribuir de manera importante a reducir la dependencia de herbicidas en sistemas agrícolas en siembra directa.

Bibliografía

ASHFORD, D. et al. Roller vs. herbicides: an alternative kill method for cover crops. 23rd Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture, 2000. p.64.

ASHFORD, D. L.; REEVES, D. W. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 37-45, 2003. ISSN 0889-1893. Disponible em: < <https://www.cambridge.org/core/article/use-of-a-mechanical-rollercrimper-as-an-alternative-kill-method-for-cover-crops/266875603FFBC555BBE7FDD539764997> >.

CARVALHO, F. P. Agriculture, pesticides, food security and food safety. **Environmental Science & Policy**, v. 9, n. 7, p. 685-692, 2006/11/01/ 2006. ISSN 1462-9011. Disponible em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901106001092> >.

DI RIENZO, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 1998. InfoStat versión 2011. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. FCA. Grupo InfoStat. s.p. Consultado 15 ene. 2019. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>

DORN, B.; JOSSI, W.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Weed suppression by cover crops: comparative on-farm experiments under integrated and organic conservation tillage. **Weed Research**, v. 55, n. 6, p. 586-597, 2015. ISSN 1365-3180. Disponible em: < <http://dx.doi.org/10.1111/wre.12175> >.

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 – 2015.

HARKER, K. N.; O'DONOVAN, J. T. Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management. **Weed Technology**, v. 27, n. 1, p. 1-11, 2013. ISSN 0890037X. Disponible em: < <http://www.jstor.org/stable/23358301> >.

HEAP, I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1306-1315, 2014. ISSN 1526-4998. Disponible em: < <http://dx.doi.org/10.1002/ps.3696> >.

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.

OSIPITAN, O. A. et al. Cover Crop for Early Season Weed Suppression in Crops: Systematic Review and Meta-Analysis. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 6, p. 2211-2221, 2018. Disponible em: < <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2017.12.0752> >.

SWANTON, C. J. et al. Integrated Weed Management: Knowledge-Based Weed Management Systems. **Weed Science**, v. 56, n. 1, p. 168-172, 2008. ISSN 00431745. Disponible em: < <http://www.jstor.org/stable/25148496> >.

VILLALOBOS, F. J.; MATEOS, L.; FERERES, E. Control of Weeds and Other Biotic Factors.
In: VILLALOBOS, F. J. e FERERES, E. (Ed.). **Principles of Agronomy for Sustainable
Agriculture**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p.459-469. ISBN 978-3-319-
46116-8.