

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTOS DE RESIDUALIDAD DE HERBICIDAS UTILIZADOS EN SOJA
SOBRE CULTIVO DE COLZA EN SUCESIÓN**

por

Nicolás GREMMINGER

Santiago FERRÉS

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2019**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Grisel Fernández Childs

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli Vanzini

Ing. Agr. Luciana Rey Arocena

Fecha: 9 de agosto de 2019

Autores:

Santiago Ferrés Cáceres

Nicolás Gremminger Lale

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a las personas que participaron directamente en la realización de este trabajo. Principalmente nuestra tutora Ing. Agr. Grisel Fernández, y los principales colaboradores como Ing. Agr. Florencia Rodríguez, Ing. Agr. Isabel García, Ing. Agr. Luciana Rey e Ing. Agr. Sebastián Mazzilli.

Nos parece fundamental agradecer a la Facultad de Agronomía como institución, de la cual estamos orgullosos de formar parte.

Recordar también que valoramos mucho la ayuda que recibimos de los algunos compañeros y amigos en los momentos que se necesitó de mayor trabajo. Por eso agradecer a Mario Isola, Bernardo Acuña, Francisco Lenguas, Gastón Magariños, y Juan Bayce.

Por último y no menos importante, reconocerle a todo el resto de nuestros familiares, amigos y conocidos, por el apoyo brindado a lo largo de toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. CULTIVO DE COLZA Y SU BIOLOGÍA.....	2
2.2. IMPORTANCIA A NIVEL MUNDIAL.....	4
2.3. IMPORTANCIA A NIVEL NACIONAL.....	4
2.4. BRECHA CON EL RENDIMIENTO POTENCIAL.....	6
2.5. HERBICIDAS: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y POTENCIAL FITOTÓXICO EN COLZA.....	8
2.5.1. <u>Diclosulam</u>	8
2.5.2. <u>Flumioxazin</u>	9
2.5.3. <u>Metolaclor</u>	9
2.5.4. <u>Sulfentrazone</u>	10
2.5.5. <u>Metribuzin</u>	11
2.5.6. <u>Diflufenican</u>	12
2.5.7. <u>Imazetapir</u>	12
2.5.8. <u>Fomesafen</u>	13
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1. UBICACIÓN.....	15
3.2. TRATAMIENTOS.....	15
3.3. DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN.....	16
3.4. DETERMINACIONES.....	18
3.5. DISEÑO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	19
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	20
4.1. POBLACIÓN.....	20
4.2. DESARROLLO.....	22
4.3. RENDIMIENTO.....	28
5. <u>CONCLUSIONES</u>	33
6. <u>RESUMEN</u>	34

7. SUMMARY..... 35

8. BIBLIOGRAFÍA..... 36

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Estados de desarrollo de la colza Escala CETIOM.....	3
2. Características del suelo donde fue instalado el ensayo.....	15
3. Tratamientos	16

Figura No.

1. Condiciones de temperatura durante el ensayo.....	17
2. Precipitaciones durante el ensayo.....	17
3. Efecto de tratamientos en población 1	21
4. Efecto de tratamientos en población 2.....	22
5. Número de hojas por planta según cultivar	23
6. Número de hojas según tratamiento y cultivar	23
7. Diámetro de planta según cultivar.....	24
8. Diámetro de planta según tratamiento y cultivar.....	25
9. Altura de planta según tratamiento y cultivar.....	26
10. Diámetro de planta según cultivar	26
11. Estado fenológico del cultivo según tratamientos.....	27
12. Estado fenológico del cultivo según tratamientos y cultivar.....	28

13. Producción de silicuas según tratamiento.....	29
14. Rendimiento en grano según tratamiento.....	30

1. INTRODUCCIÓN

La situación de los cultivos de invierno como trigo y cebada hoy en día es compleja en Uruguay. Los altos costos de insumos en relación a los bajos precios de venta del grano definidos por el mercado internacional hacen que el margen que dejan estos cultivos sea bajo. Esta situación se ve además estimulada por una alta rentabilidad de los cultivos de verano, particularmente en el caso de la soja, lo cual desestimula a los productores a cultivar en invierno.

En contraposición a esto, existen fuertes presiones derivadas de recientes reglamentaciones para el uso del suelo, que exigen cubrir el suelo en el periodo invernal, con el objetivo de disminuir la erosión y mantener los niveles de carbono en el suelo. Esto ha determinado la necesidad de encontrar alternativas que permitan cumplir tanto con las exigencias de los productores como la de las autoridades, y el cultivo de colza aparece como una interesante alternativa.

Algunos de los herbicidas aplicados en la soja pueden presentar efectos residuales fitotóxicos en la colza, constituyendo una importante limitante a la producción de la rotación soja – colza.

El presente trabajo tuvo por objetivo conocer el efecto residual fitotóxico de 8 herbicidas utilizados en el cultivo de soja sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento sobre un cultivar de colza convencional (Rivette) y sobre uno con tolerancia a imidazolinonas (Hyola 575CL).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTIVO DE COLZA Y SU BIOLOGÍA

La colza es una planta oleaginosa de invierno perteneciente a la familia de las crucíferas, dentro del género de las Brassicas. Cuando se habla de colza se puede estar refiriendo a varias especies, tales como *Brassica rapa* (ex *campestris*), *Brassica napus* (canola), *Brassica juncea* (mostaza de la India) y *Brassica carinata* (Mazzilli, 2016). Sin embargo, a lo largo de los capítulos se hará referencia a la *Brassica napus* ya que fue la especie estudiada en el presente trabajo.

En cuanto a su morfología, se trata de una planta herbácea anual. Posee una raíz pivotante y profunda con gran posibilidad de desarrollar raíces secundarias. El tallo es erecto con un tamaño de 1,5 m aproximadamente. Sus hojas presentan pecíolo, caracterizándose las hojas inferiores por presentar un margen dentado mientras que en las superiores, es acorazonado. En cuanto a las flores, son pequeñas, amarillas y se agrupan en racimos terminales. Sus frutos son silicuas dehiscentes y el número de granos por vaina es de 20-25 según la variedad. Presenta semillas de forma esférica, con un diámetro entre 2 y 2,5 mm, una vez maduras su color es castaño rojizo o negro. Un aspecto destacable es que la semilla de colza contiene cerca de 40% de aceite y 20% de proteínas en su composición (Bustamante et al., 1998).

El desarrollo del cultivo de colza es afectado por la temperatura, el fotoperiodo y también la vernalización, en algunos cultivares. Los estados fenológicos del cultivo de colza se pueden describir utilizando como referencia la Escala CETIOM (Cuadro No. 1).

Cuadro No. 1. Estados de desarrollo de la colza Escala CETIOM

Período	Estado de CETIOM		Descripción
Plántula	A - Cotiledonar		Sin hojas verdaderas. Dos cotiledones visibles
	B - Formación de roseta	B1	Una hoja verdadera desplegada
		B2	Dos hojas verdaderas desplegadas
Roseta	Bn	n hojas verdaderas desplegadas	
Elongación	C - Inicio de elongación	C1	Aumento de la vegetación. Aparición de hojas jóvenes
		C2	Entrenudos visibles. Estrangulamiento verde claro en la base de los nuevos pecíolos
	D - Yemas unidas	D1	Yemas unidas, escondidas por hojas terminales
		D2	Inflorescencia principal despejada, aun con yemas unidas. Inflorescencias secundarias visibles
	E - Yemas separadas		Yemas separadas. Los pedúnculos florales periféricos comienzan a alargarse
Floración y Maduración	F - Floración	F1	Primeras flores abiertas
		F2	Alargamiento de vara floral. Numerosas flores abiertas
	G - Formación de silicuas	G1	Caída de primeros pétalos. Las diez primeras silicuas tienen un largo menor a 2 cm. Comienza la floración de inflorescencias secundarias
		G2	Las diez primeras silicuas miden entre 2 y 4 cm
		G3	Las diez primeras silicuas tienen un largo mayor a 4 cm
		G4	Las diez primeras silicuas comienzan a madurar
		G5	Granos coloreados

Existen dos tipos de cultivares de colza, los invernales y los primaverales. Las de tipo invernal poseen respuesta a la vernalización, es decir que exigen acumulación de bajas temperaturas para florecer, mientras que las de tipo primaveral no necesitan dicha acumulación de frío.

2.2 IMPORTANCIA A NIVEL MUNDIAL

Las variedades comerciales de colza surgen del mejoramiento genético de las especies silvestres (Alves, 2000), las cuales han sido cultivadas en India, China y Europa del Norte central desde hace cientos de años. Su introducción en América fue recién en la Segunda Guerra Mundial, en la región de Canadá cuando los suministros de aceite de colza desde Europa y Asia fueron suspendidos y la necesidad de combustible para los barcos llevó a que se extendiera el cultivo en esa región. La producción aumentó hasta fines de la década de los 40 cuando decayó abruptamente por falta de demanda. A mediados de los 50 surgió la posibilidad de usar aceite de colza como comestible (Mazzilli, 2016).

La colza produce un aceite con un nivel de ácido erúxico que es perjudicial para la salud humana, además de poseer bajos niveles de digestibilidad en animales. En base a esto se inició un proyecto para disminuir el ácido erúxico en la semilla y posteriormente bajar los niveles de glucosinolato. De esta forma surge la CANOLA (Canadian Oil Low Acid), una colza obtenida por mejoramiento que presenta en sus granos tenores de ácido erúxico menor a 2% en el aceite, y glucosinolatos en la torta menores a 30 $\mu\text{mol g}^{-1}$ (Mazzilli, 2016).

Actualmente la colza es un cultivo de relativa importancia en el mundo. Es apreciada por su aceite para el consumo humano debido a su buena composición de ácidos grasos. También es utilizada en gran medida para consumo animal, de forma fresca como forraje o como subproducto del prensado, un material de muy buena calidad proteica. Además, el grano es de gran importancia para la producción de biodiesel (Jahreis, 2011). Hoy en día es el cultivo de aceite que ocupa el tercer lugar en área, después de la soja y el aceite de palma, con un 12% del mercado de aceite en el mundo, donde las zonas de mayor producción se encuentran en Europa, China e India (Maheshwari, 2016).

2.3 IMPORTANCIA DEL CULTIVO A NIVEL NACIONAL

Si bien la colza es un cultivo con una larga historia a nivel mundial, su primera introducción en Uruguay fue alrededor de 1990, impulsada por un grupo pequeño de productores que difícilmente sobrepasaba las 300 ha cultivadas al año. Recién en el año 2004 se generó un nuevo impulso ya que varias empresas demostraron interés en desarrollar el mercado, lo cual era una de las principales trabas al aumento de producción. Se pudieron concretar entorno a las 1400-1500 has de siembra y los rendimientos obtenidos fueron variables y bajos, 1.100 Kg ha⁻¹ en promedio. Lo cual

indicaba que para que el cultivo pudiera crecer en área debían mejorarse las prácticas agronómicas aplicadas.

En el año 2010 ALUR (Alcoholes del Uruguay S.A - ANCAP) comienza a participar del mercado llegando a un total de 15.211 ha en la zafra 2013, pero con medias de rendimientos entre 1000 y 1800 Kg ha⁻¹ (Mazzilli et al., 2014).

Según los datos presentados por MGAP. DIEA (2018), la colza ha alcanzado cifras récord de siembra con 53 mil hectáreas, lo que equivale al 12% del área sembrada con cultivos de invierno para grano seco, estimada en 460 mil hectáreas.

En el Uruguay la gran mayoría del área de colza sembrada se corresponde a variedades primaverales. Se debe a que las primaverales han demostrado tener potenciales de rendimiento promedio más altos que las invernales (4000 kg ha⁻¹ y 2100 kg ha⁻¹ respectivamente) ya que las temperaturas invernales de la región no aseguran cubrir los requerimientos de frío de estas últimas. Por otro lado los materiales invernales deben sembrarse a mediados de abril, y debido a su ciclo liberan las chacras muy tarde, dificultando la rotación con el cultivo de soja o con otro cultivo de verano, lo que también desestimula su siembra (INIA e INASE, 2016).

Los materiales híbridos son el resultado de la cruce de dos variedades distintas genotípicamente con el fin de obtener una semilla F1 y así poder explotar el vigor híbrido. Según Mazzilli (2016), estos materiales poseen mayor velocidad de emergencia y uniformidad en la cosecha, pero el costo de la semilla es superior.

En relación a los materiales estudiados en esta tesis, la variedad Rivette, la más utilizada en el país (Barreira et al., 2018), es de tipo primaveral, ciclo corto, y según la evaluación de cultivares INIA del 2016 tuvo un rendimiento de 3446 kg ha⁻¹, mientras que la Hyola 575CL es un híbrido, también primaveral de ciclo corto, con un rendimiento en esa evaluación de 4538 kg ha⁻¹. Esta última, es del tipo Clearfield, lo que le confiere la característica de ser tolerante a los herbicidas de la familia de las imidazolinonas, por lo que la hace especial para aquellos casos en los que en el cultivo antecesor se haya aplicado alguno de estos herbicidas (Advanta, 2016).

Es un cultivo que puede proporcionar al productor un margen económico suficiente como para igualar o superar al del que trigo y cebada, y al mismo tiempo cumplir con la cobertura invernal del suelo. Tiene por ventaja adicional, el hecho de liberar la chacra antes que el trigo y la cebada, facilitando la instalación de cultivos de segunda (ADP, 2017). Adicionalmente, presenta otros aspectos positivos como el hecho de cortar el ciclo de las enfermedades (manchas foliares) de trigo y cebada, facilitar el control de malezas gramíneas (balango, raigrás), proporcionar mayor diversidad de los sistemas de producción y la capacidad de ser cultivada sin la necesidad de herramientas especiales (Mazzilli, 2016).

Hoy se presenta como una alternativa prometedora para suplantar o competir con los cultivos de invierno tradicionales, por poseer ventajas tanto económicas como de

manejo. Sin embargo, a continuación se mostrarán algunos inconvenientes en su producción, los cuales han llevado a cuestionarse la factibilidad de su expansión como cultivo.

2.4 BRECHA CON EL RENDIMIENTO POTENCIAL

A nivel mundial, a diferencia de otros cultivos de invierno como trigo y cebada cuyos rendimientos a campo son cercanos a los rendimientos potenciales, los promedios de rendimiento obtenidos en cosechas comerciales de colza muestran una gran brecha respecto a los potenciales. Sucede que a nivel nacional la brecha es aún mayor, algo que impone una traba para la implementación masiva de este cultivo (Aguirre y Uriarte, 2010). Esto permite entender la situación desde distintos puntos, por un lado indica que hay posibilidad de mejorar el margen económico, pero por otro, señala la existencia de dificultades que se deben intentar solucionar para disminuir la diferencia entre su capacidad y el rendimiento efectivamente alcanzado hasta el momento.

Existen diversas causas que pueden explicar esta desigualdad: la presencia de malezas, la susceptibilidad del cultivo al anegamiento y condiciones del suelo y el inadecuado manejo de la fertilización, entre otras. Sin embargo, en este trabajo se ampliará acerca del efecto de los herbicidas residuales en el sistema de producción, un posible factor clave de disminución del rendimiento según Mazzilli (2016).

La presencia de malezas en el cultivo afecta el rendimiento, ya que causa competencia y estrés a las plantas (Gaikwad y Pawar, 2002), por eso en la actualidad los herbicidas son herramientas utilizadas y necesarias. Pero se sabe que la residualidad benéfica de un herbicida puede ser algo negativo si afecta a un cultivo susceptible sembrado posteriormente.

Los herbicidas residuales son relativamente nuevos en la historia de los cultivos, y si bien a nivel mundial hay muchos ensayos que indican un tiempo de espera recomendado para siembra segura de colza de 12 y hasta 24 meses luego de ser aplicados en soja, la información que se obtiene no siempre representa la situación real.

Esto se debe en primer lugar, a que la combinación de factores como las propiedades químicas y concentración del herbicida, la frecuencia y modo de aplicación, determinan en parte cuánto residuo del producto queda en el suelo (Perrin-Ganier et al. 2001, Rosales-Conrado et al. 2002, Sparks 2003).

Asimismo, dado que el suelo es una mezcla heterogénea de ciertos componentes orgánicos e inorgánicos, que varían en su composición y actividad, puede afectar considerablemente el comportamiento del herbicida (Rigi et al., 2015), mediante procesos de sorción, degradación, escurrimiento superficial, lixiviación y absorción de las plantas.

Otra característica que determina que ensayos de herbicidas en suelo no sean totalmente replicables o transferibles a otros lugares del mundo, se debe a que el comportamiento de los mismos responde también a las condiciones ambientales de cada lugar donde se han realizado. Las condiciones climáticas en las cuales se aplica el herbicida como la temperatura, humedad y precipitaciones también afectan a procesos como la degradación, donde se rompen las moléculas del producto original en compuestos menores, de forma biótica o abiótica, que en la mayoría de los casos se transforma en una molécula menos tóxica (Brum et al., 2013).

A este fenómeno se agrega que la colza a gran escala es relativamente nueva en Uruguay y también lo es el uso de algunos herbicidas en estos cultivos. Por ello la experiencia práctica sobre estos temas es relativamente escasa, lo que no permite hasta el momento inferir factores determinantes que deberían ser modificados o evaluados. A grandes rasgos se piensa que el herbicida diclosulam es uno de los que genera mayor impacto negativo en el rendimiento de colza, pero sobre los demás no se tiene una idea clara.

Es por eso que los trabajos de efectos específicos de herbicidas sobre colza aún no brindan respuestas totalmente concordantes y de utilidad para el manejo de los mismos en la rotación. Hay variables que influyen directa e indirectamente sobre dicho rendimiento, elementos que aun, incluso a nivel mundial son difíciles de medir con precisión en condiciones no experimentales.

Existe entonces escasa información nacional sobre los tiempos de espera de los herbicidas para siembra segura de colza, utilizándose actualmente recomendaciones establecidas a nivel internacional, donde es probable que el comportamiento de los herbicidas y los tiempos de espera óptimos para la siembra de esta oleaginosa sean distintos. Esta incertidumbre concluye en mayor dificultad para los productores de utilizar esos insumos como herramientas y así lograr mayores rendimientos, y la necesidad de probar cada uno a su escala y situación los ajustes que crea necesarios para lograr sus objetivos.

Es por este motivo que son esenciales los ensayos locales, que representen fidedignamente el comportamiento de los herbicidas para incrementar el potencial nacional, así como optimizar las condiciones de los cultivos comerciales en el país.

El efecto conjunto de todas las circunstancias mencionadas llevó al desarrollo de este ensayo. El fin es poder asegurar cuales herbicidas son seguros para la siembra de colza en un cierto lugar, período y tipo de suelo, y los que no lo son, observar de qué forma y en qué momentos del ciclo se expresan los daños.

2.5 HERBICIDAS: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y POTENCIAL FITOTÓXICO EN COLZA

A continuación se presenta información resumida sobre los herbicidas que fueron incluidos en la tesis en relación a sus características generales, fitotoxicidad y tiempo de espera para sembrar cultivos de colza.

2.5.1 Diclosulam

El diclosulam es un principio activo perteneciente al grupo químico de las triazolpirimidinas. Es un inhibidor de ALS que actúa sobre el proceso de síntesis de aminoácidos. Se caracteriza por tener una forma aniónica y bajo coeficiente de adsorción, que lo hace muy móvil en el ambiente (Ganguly et al., 2016). Se utiliza en general en dosis de entre 25 y 35 g/ha (Rodrigues et al., 2010). Surgió en 1990 y se registró en Argentina y Brasil en 1997 con el objetivo de controlar malezas con aplicaciones en preemergencia y postemergencia también.

Los residuos de diclosulam pueden permanecer en el suelo por meses dependiendo del ambiente en que se encuentre (Monquero et al., 2013). Está comprobado que el proceso de disipación de este principio activo se produce siguiendo una función con decrecimiento constante negativo (Bhattacharyya et al., 2012) y se mantiene independientemente del sustrato y la dosis (Ganguly et al., 2016).

La vida media del diclosulam en el suelo es un valor que varía mucho según cada autor, encontrando desde 5 a 45 días según la fuente. Pero existen datos que indican que más allá de la vida media, se pueden encontrar residuos en suelo que afectan el crecimiento de plantas sensibles hasta 200 días post aplicación (De Almeida et al., 2012). En el caso del girasol, esta cifra es aún mayor, el diclosulam se considera uno de los herbicidas con mayor efecto fitotóxico, por lo que no se recomienda su siembra antes de los 18 meses de aplicado (Monquero et al., 2013). En cuanto al cultivo de colza, se sabe que el diclosulam tiene un tiempo de espera de hasta 30 meses para la siembra segura, según datos de Buntin et al. (2018) basados en ensayos en Georgia, Estados Unidos.

La actividad microbiana es el factor primordial en la velocidad de degradación del herbicida. Por eso la temperatura y contenido de materia orgánica del suelo demostraron ser los factores principales del ambiente que afectan este proceso (Ganguly et al., 2016), ya que aumentan la velocidad de metabolización de los microorganismos y varían la vida media del herbicida. Las bacterias son capaces de crecer en presencia del diclosulam y utilizarlo (Rodrigues et al., 2010), asimilando el producto de dos maneras, con mineralización o con cometabolismo.

A diferencia de otros herbicidas, la solubilidad del diclosulam varía mucho con el pH del suelo, sin embargo, este no parece afectar la residualidad del mismo. A su vez, se sabe que la humedad del suelo también influye en la persistencia del diclosulam donde a menor humedad hay menor fitotoxicidad (Rodrigues et al., 2010).

2.5.2 Flumioxazin

El principio activo flumioxazin pertenece al grupo químico de las N-fenil-italimidias, es un inhibidor de la enzima PPO que actúa en la membrana celular.

Al entrar en contacto con los coloides del suelo, el herbicida está sujeto a procesos de adsorción, lixiviación y degradación fisicoquímica y biológica. La adsorción es el factor más importante por el cual se torna no disponible, lo que le impide ser absorbidos por las plantas. Todos los herbicidas son adsorbidos en algún grado, y su actividad es reducida directamente proporcional a la cantidad adsorbida. El grado de adsorción depende de la solubilidad del herbicida, con una relación inversa. El conocimiento de la capacidad de un herbicida de ser adsorbido según el tipo de suelo es importante para la definición de la dosis a ser utilizada. El contenido de carbono orgánico y proporción arcilla del suelo son los factores principales que afectan la relación de adsorción de flumioxazin, a medida que estos aumentan, se requiere el aumento de dosis de herbicida por la elevada capacidad de adsorción (De Oliveira et al., 1998).

Para tener una noción de la conducta de este herbicida, estudios de flumioxazin utilizado en soja revelan que en determinadas condiciones se considera que el tiempo de espera es de 70 días para cultivo de girasol, considerando que una pérdida de materia seca menor al 10% se asume como baja fitotoxicidad. La actividad residual del flumioxazin no se considera tan alta, producto de la alta tasa de degradación microbiana en la fracción orgánica del suelo, donde el 80% de las moléculas del herbicida son adsorbidas en las primeras 72 horas (De Almeida et al., 2012).

En otro ensayo realizado por Dan et al. (2011), se demuestra que el flumioxazin es el herbicida que menos intoxicación genera, el que se degrada antes, y el que tiene menor porcentaje de intoxicación a los 120 días comparado con imazaquin, diclosulam y sulfentrazone, evaluado sobre un cultivo de mijo. No se han encontrado datos claros que indiquen los meses necesarios de tiempo de espera para la siembra segura de colza.

2.5.3 Metolaclor

El metolaclor, pertenece al grupo químico de las cloroacetamidas, las cuales inhiben la síntesis de las cadenas largas de ácidos grasos. Es usado como herbicida tanto pre emergente como post emergente, para control de gramíneas y hoja ancha. En general se manejan dosis de 700 a 1500 g i.a./ha.

El metolaclor es propenso a perderse por lixiviación debido a su alta solubilidad en agua pudiendo generar efecto del herbicida sobre lugares no objetivo, sobre todo en fuentes de agua cercanas. Se estima que entre 1 y 5% del herbicida se pierde por escurrimiento.

La degradación de este herbicida tiende a ser más biológica que química, básicamente de tipo cometabólica. Por eso está básicamente atribuida al pH del suelo y a la presencia de microorganismos adaptados degradadores de metolaclor. Los cambios en materia orgánica como rastrojo pueden aumentar la tasa de degradación del herbicida.

La vida media del metolaclor según distintos ensayos varía entre 23 a 51 días. Se pierde muy rápido en los primeros días, y luego se degrada lentamente. En el ensayo de Jaikaew et al. (2015) a las 2 semanas de aplicado permanecía un 29 y 62% del producto en verano e invierno respectivamente. Mientras que a los 147 días quedaba un residuo del herbicida en suelo de 0.11 ppm en verano y 0.52 ppm en invierno respectivamente.

Según el ensayo de Ibrahim et al. (1987), metolaclor a dosis 2.4 kg ia/ha obtuvo mayor rendimiento del cultivo de colza que el tratamiento con control manual de malezas, mientras que con una dosis de 3.6kg ia/ha obtuvo menos rendimiento que el control manual, aunque el control de malezas fue excelente. Lo cual indica que el metolaclor es fitotóxico para la colza cuando alcanza 3.6 kg ia/ha. Sin embargo, no se han encontrado datos que indiquen claramente cuál es el tiempo de espera recomendado para la siembra segura de colza.

2.5.4 Sulfentrazone

Este herbicida pertenece al grupo de los triazoles. Su mecanismo de acción es la inhibición de la enzima PROTOX, afectando un paso intermedio en la síntesis de clorofila. Es de efecto residual, está catalogado como herbicida de media persistencia, con una vida media que entra dentro del rango de 90 a 180 días.

La forma principal de disipación del herbicida es la degradación microbiana, por eso en regiones tropicales se presenta una degradación más rápida debido al aumento de microorganismos por temperatura más alta del suelo (Ortiz et al., 2008).

A pesar de que Ohmes y Mueller (2007), Melo et al. (2010), Monquero et al. (2010) clasifican al sulfentrazone como de gran potencial de lixiviación, hay pocos estudios que corroboren lo que sucede en el suelo. La movilidad del herbicida depende mucho del tipo de suelo, la infiltración es afectada por el porcentaje de arcilla, arena y materia orgánica. En suelos con más arcilla el herbicida queda en los primeros centímetros, y en suelos con menos arcilla y menos materia orgánica el herbicida se distribuye más homogéneo en todo el perfil. Además la movilidad es afectada por las precipitaciones, donde el aumento en la cantidad de lluvia aumenta la percolación

incluso en suelos arcillosos. Por otro lado, el alto contenido de cationes de algunos suelos puede afectar la adsorción del herbicida (Passos et al., 2015).

Según la bibliografía consultada, los datos presentados por Brown et al. (2008) de varias regiones de Estados Unidos, muestran que el tiempo de espera para siembra segura de colza luego de utilizar sulfentrazone es de 24 meses.

2.5.5 Metribuzin

Este herbicida se encuentra dentro del grupo químico de las triazinas. El mecanismo de acción consiste en la inhibición de la fotosíntesis a través del bloqueo del flujo de electrones del fotosistema II (da Silva, 2015). Es un herbicida sistémico selectivo de uso pre emergente, pero con actividad foliar, que se absorbe por hoja y raíz y se transloca a todas las partes de la planta, por eso se usa post emergente en algunos casos. Es usado para el control de especies gramíneas y latifoliadas anuales (Insuagro, s.f.).

El metribuzin tiene la característica de ser muy soluble en agua, por eso tiende a ser poco adsorbido en la mayoría de los suelos (Flores- Céspedes et al., 2017). Según Bedmar et al. (2004), es uno de los herbicidas más lixiviados. Dicha movilidad es afectada por la materia orgánica, distribución y tamaño de partículas, y la porosidad del suelo, además de la intensidad de lluvias (EXTOXNET, 1996). En ciertas condiciones, con lluvias de 60 mm se lixivia hasta 15 cm de profundidad, mientras que con 115mm llega a 20 cm de profundidad, lo que indica que es fácilmente lixiviado (da Silva et al., 2015).

La adsorción del metribuzin es afectada por la materia orgánica, contenido de arcilla, CIC y pH, siendo la materia orgánica y pH los principales (pH más básico, baja la adsorción). El proceso de adsorción no es totalmente reversible, pero gran parte de lo adsorbido se desorbe (Rigi et al., 2015). Es por esta razón que las empresas que venden este producto recomiendan subir la dosis en suelos muy pesados y con alto contenido de materia orgánica y no aplicar en suelos muy livianos (BAYER, 2018).

Se sabe que el metribuzin es tóxico para el cultivo de colza, ensayos de Chaudhry et al. (2011) muestran que la aplicación del herbicida al momento de la siembra de colza produjo efecto negativo en el rendimiento de este cultivo al momento de la cosecha, de tal magnitud que casi no se obtuvo grano. La merma en el rendimiento se explica por la alta mortalidad de plantas del cultivo, combinado con una reducción en el peso de grano. Ensayos realizados en diversas regiones de Estados Unidos, tanto los de Brown et al. (2008) así como los realizados por Buntin et al. (2018) en el estado de Georgia, determinan que el tiempo de espera para la siembra segura de colza luego de utilizar metribuzin es de 12 meses.

2.5.6 Diflufenican

El diflufenican es un herbicida perteneciente a la familia química de las difeniléteres, es de amplio espectro y se caracteriza por su actividad sobre hierbas de hoja ancha y algunas de hoja estrecha (Silva et al., 2014). Existen mermas significativas en rendimiento de colza cuando este es aplicado entre los estadios de 3 y 4 hojas (Dhammu et al., 2015)

Se destaca por una alta residualidad dada por una mineralización lineal lenta con una fase lag, debido a que no se han encontrado microorganismos que usen este herbicida como fuente de carbono. Por otro lado, no se conoce correlación entre la cantidad de arcilla y materia orgánica con la mineralización (Norgaard et al., 2015).

Ensayos de Bending et al. (2006) indican que 28 semanas luego de aplicado aún queda un 73% del diflufenican, sin embargo, muestran que existe una gran variabilidad espacial en la tasa de degradación de un herbicida. Ensayos de Walker y Brown (1983) en otros herbicidas mostraron que en un cuadrante de 80x80m puede haber hasta un 50% de coeficiente de variación en el tiempo de vida media de un herbicida. Sin embargo, no se han encontrado datos que indiquen claramente cuál es el tiempo de espera recomendado para la siembra segura del cultivo de colza.

En algunos trabajos de Bending et al. (2001, 2003) se pudo asociar esta variación a las características del suelo como el pH, en cambio en otros trabajos como los de Cullington y Walker (1999) no se encontró correlación. Hay que tener en cuenta que el error experimental asociado al muestreo y análisis, junto con el uso de un modelo que no esté correctamente ajustado puede contribuir de gran forma a la variabilidad de degradación que se percibe dentro de la chacra. Por otro lado, la diferencia entre resultados evaluados a campo y en laboratorio se debe entre otras cosas a la lixiviación que se produce a campo (Bromilow et al. 1999, Muller et al. 2003).

Sería muy útil conocer los factores dentro de la chacra que explican esta variación en la vida media y los patrones de cómo se produce, ya que afecta el potencial de lixiviación del mismo, lo que puede llevar a contaminación de suelos y aguas, y la acumulación año a año.

Según experimentos de Tejada (2009), este herbicida reduce entre 25 y 38 % la actividad microbiana y enzimática del suelo, sobre todo en los suelos arenosos.

2.5.7 Imazetapir

Pertenece al grupo químico de las imidazolinonas. Actúa inhibiendo un paso intermedio en la síntesis de aminoácidos, que interfiere en la síntesis de ADN y

crecimiento celular. Es usado como herbicida selectivo post emergente temprano para el control de un amplio espectro de malezas.

Se disipa a través de la degradación microbiana y la fotólisis, ya que en general no tiende a lixiviarse. Se observa que el imazetapir tiene una fase inicial rápida de degradación seguida de una fase lenta de larga persistencia (Sondhia et al., 2015). La persistencia del imazetapir aumenta cuanto mayor es el contenido de arcilla y materia orgánica, debido probablemente a un incremento en la adsorción del suelo que protege al herbicida de la degradación microbiana.

La adsorción del imazetapir aumenta cuando disminuye el pH por debajo de 6, lo cual puede también aumentar la persistencia. Se debe a que la molécula se comporta como ácido y como base, dependiendo del pH del medio. A pH medio o alto, predomina la forma aniónica causando muy baja adsorción por repulsión de los aniones a las arcillas cargadas negativamente (Green, citado por Oufiqir et al., 2017). Mientras que a pH bajo predomina una forma no iónica (Singh et al. 1990, Stougaard et al. 1990, Loux-Reese 1993, Gennari et al. 1998, Madani et al. 2003) promoviendo alta afinidad con el suelo. Sin embargo el pH del suelo parece ser menos importante que el contenido de arcilla en determinar la adsorción. Probablemente el pH tiene mayor influencia en la persistencia en suelos con bajo contenido de arcilla (Loux y Reese, 1993).

Se estima en ciertas condiciones una vida media del herbicida de 18-21 días en un suelo arcillo limoso, sin embargo algunos investigadores han indicado tiempos de espera de hasta 6 a 34 meses. Por ejemplo, según datos de Brown et al. (2008) referidos a varias regiones de Estados Unidos, el tiempo de espera para sembrar colza luego de utilizar imazetapir es de 40 meses e incluso recomienda realizar un bioensayo de todos modos. Para variedades Clearfield (u otras resistentes al imazetapir) se puede sembrar en la siguiente estación. Por otro lado, ensayos de Buntin et al. (2018), realizados en Georgia, Estados Unidos, indican que Imazetapir tiene un tiempo de espera para siembra segura de 26 meses para la siembra segura de colza.

Debido a la persistencia que presenta y a que este herbicida se usa en varios cultivos, el uso consecutivo de varios años puede hacer que se acumule en el suelo. Esto puede dañar los cultivos siguientes, como ya se ha reportado fitotoxicidad en canola y otros cultivos susceptibles (Sondhia et al., 2015).

2.5.8 Fomesafen

El fomesafen es un herbicida perteneciente al grupo químico de los difenil-eter. Se usa como post emergente para control de hoja ancha en soja principalmente, actúa por contacto, donde su mecanismo de acción es la inhibición de PPO afectando la membrana celular (SYNGENTA, 2018).

Según autores como Costa et al. (2004) este herbicida tiene moderada movilidad y lixiviación dependiendo del tipo de suelo, especialmente del contenido de

materia orgánica y pH. Se espera que la movilidad, biodisponibilidad y degradabilidad del fomesafen sea menor en suelos con pH menor al neutro debido a la adsorción de los coloides del suelo, mientras que en suelos a pH 7 es cuando el proceso se da a mayor velocidad. Si bien se sabe que en un medio anaerobio se degrada en menos de tres semanas, en condiciones normales de siembra directa tiene una vida media de entre 60 y 71 días.

El periodo entre aplicación del fomesafen y siembra segura del cultivo en rotación varía según la sensibilidad del cultivo en rotación y la persistencia del herbicida. Según estudios de Cui et al. (2017), se sabe que sigue una curva de disipación lineal negativa de primer orden. En ciertas condiciones de suelo, con una dosis de fomesafen de 250g/ha, se necesitan 114-180 días para siembra segura de sorgo por ejemplo, aunque en algunos casos (Santos, 1991) se han encontrado daños de fomesafen en sorgo hasta 6 meses después, al usar altas dosis del herbicida (Cobucci et al., 1998). El fomesafen tiene un tiempo de espera para siembra segura de colza de 18 meses en base a datos presentados por Buntin et al. (2018), de ensayos realizados en Georgia, Estados Unidos.

Por su forma aniónica y su alta solubilidad en agua es considerado potencialmente riesgoso para contaminación de agua en el suelo y escurrimiento (Potter et al. 2011, Khorram et al. 2015). Tiene gran potencial de lixiviación, en el trabajo de Scorza Júnior y Silva (2007), fue encontrado a 10 cm de profundidad. A medida que aumenta la profundidad a la cual se encuentra el herbicida baja la fitotoxicidad, y aumenta la materia seca del cultivo. La lixiviación es mayor en suelos arenosos que arcillosos, por la mayor movilidad, y en suelos con baja materia orgánica, por menor adsorción del herbicida (Silva et al., 2014).

En el ensayo realizado por Xiao-Hu et al. (2017) se muestra que el uso continuo de fomesafen en cultivo de soja afectó la estructura de la población microbiana favoreciendo a unas especies y afectando negativamente a otras. Generando cambios en la estructura microbiana del suelo de hasta 90 días post aplicación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El experimento fue llevado a cabo en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) de UdelaR. Facultad de Agronomía, en el departamento de Paysandú, situada 3 km al Sur de la ciudad.

La unidad de suelos predominante en esa zona es Unidad San Manuel, y el suelo sobre el cual se desarrolló el ensayo es de tipo Argiudol Típico. El bloque 3 se encuentra principalmente sobre el grupo de suelos 2b, mientras que los bloques 2 y 1 sobre 11b.

Cuadro No. 2. Características del suelo donde fue instalado el ensayo

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	CIC (meq/100g)	Arena	Limo	Arcilla
				(%)		
0- 20	5.4	2.5	20.1	28	42	30

3.2 TRATAMIENTOS

En el siguiente cuadro se detallan los tratamientos realizados.

Cuadro No. 3. Tratamientos utilizados

	Dosis recomendada	Dosis doble
Diclosulam	36 g/ha	72 g/ha
Flumioxazin	72 g/ha	144 g/ha
Sulfentrazone	250 g/ha	500 g/ha
Metolaclor	1440 g/ha	2880 g/ha
Metribuzin	480 g/ha	960 g/ha
Diflufenican	125 g/ha	250 g/ha
Imazetapir	60 g/ha	120 g/ha
Fomesafen	250 g/ha	500 g/ha
Testigo	- -	- -

3.3 DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA DE INSTALACIÓN

El diseño experimental se correspondió con un diseño de bloques divididos. Los tratamientos combinando 8 herbicidas distintos aplicados en la soja sembrada previamente, en dosis recomendada, dosis doble y un testigo, fueron dispuestos al azar en 3 bloques. En cada bloque la mitad del área fue sembrada con cultivar híbrido Hyola 575CL y la otra mitad con la variedad Rivette. Obteniendo un total de 102 parcelas con un área de 8 m² (2 m x 4 m) cada una.

La siembra con soja RR y aplicación de los herbicidas preemergentes tuvo lugar el día 28/11/2017. Posteriormente se aplicaron los postemergentes el día 5/1/2018, y la cosecha se realizó en el mes de julio de 2018. Luego se sembró sobre las parcelas el cultivo de colza el día 7/8/2018, a una densidad de 4 kg/ha con un distanciamiento entre hileras de 19cm, finalmente cosechado en diciembre de ese año.

Para la aplicación de los herbicidas se utilizó una pulverizadora portátil, presurizada con CO₂, con un varal de 2m y 5 boquillas equidistantes. La máquina fue regulada para trabajar con una presión de 2,5 Bar, con una velocidad de avance de 1 m/s, para aplicar un volumen de caldo de 100 l/ha.

No se realizó ninguna medida de fertilización sobre los cultivos.

Las condiciones ambientales, desde aplicados los herbicidas hasta el día de la cosecha de la colza, fueron registradas por la estación meteorológica de EEMAC

Paysandú, la cual se ubica a menos de 300 m del ensayo. Se registró un total de precipitaciones de 1226 mm, con un promedio de temperatura de 18.3° C (Figura No. 2).

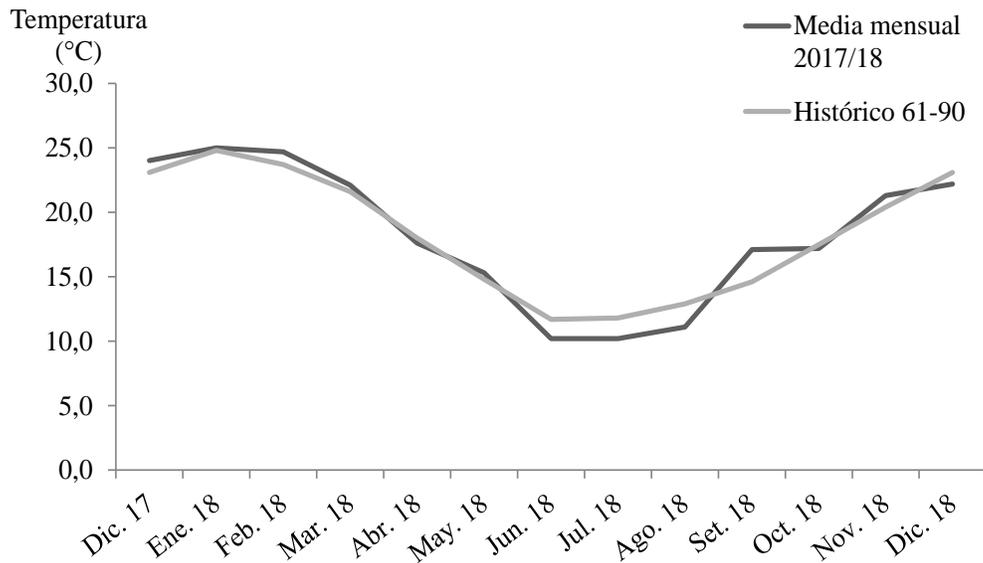


Figura No. 1. Condiciones de temperatura durante el ensayo

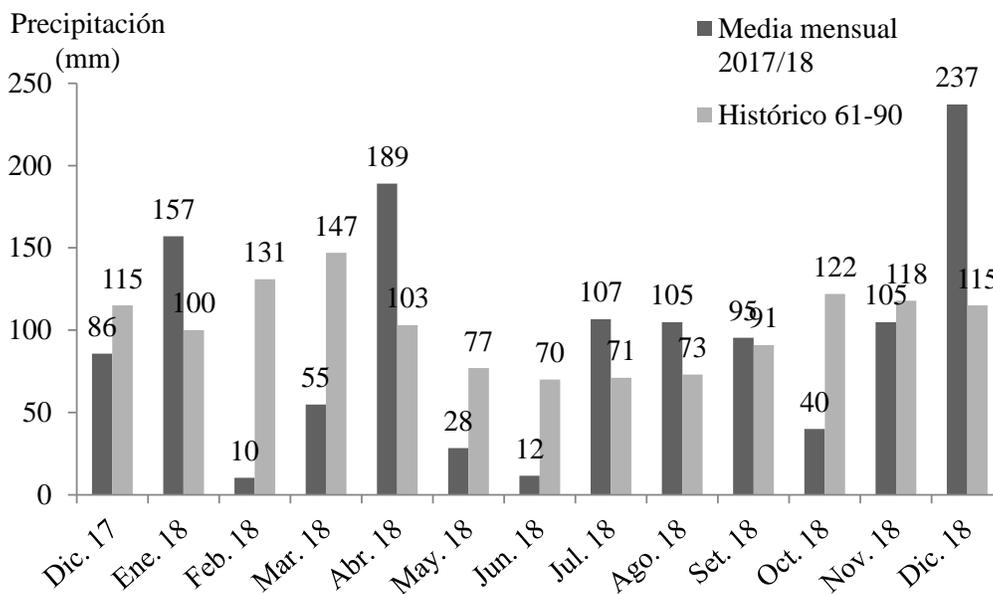


Figura No. 2. Precipitaciones durante el ensayo

3.4 DETERMINACIONES

Durante el ensayo, a lo largo del ciclo de colza se hicieron determinaciones de población, crecimiento, desarrollo y rendimiento en grano.

Las mediciones de población del cultivo fueron hechas el día 12/9/2018 (36 días post siembra) y el día 3/10/2018 (57 días post siembra). Se contabilizó el número de plantas nacidas en 2m de hilera de cada parcela (4 medidas de medio metro al azar).

Posteriormente se realizaron dos mediciones de crecimiento y desarrollo. En la primera medición llevada a cabo el día 4/10/2018 (58 días post siembra), se contaron las plantas presentes en 2m de hilera de cada parcela (2 medidas de 1 metro cada una), y se contabilizó el número de hojas de cada planta, y se midió su diámetro.

La segunda medición de crecimiento y desarrollo, el día 21/10/18 (75 días post siembra), se contabilizaron las plantas de 2m de las hileras de cada parcela (2 mediciones de 1 metro cada una) en las que se midió el diámetro de cada planta, y se le asignó un estadio de desarrollo siguiendo la escala CETIOM. En esta en esta instancia se midió la altura del cultivo en las parcelas. A su vez se intentó cuantificar el grado de enmalezamiento, estimando el porcentaje de suelo cubierto por malezas, indicando además si las mismas eran desarrolladas o no.

La cosecha del cultivo se realizó el día 22/11/2018 (106 días post siembra). Se hizo de forma manual, cortando 4 metros lineales dentro cada parcela. Se obtuvo una muestra por parcela sobre la cual se midieron varias variables.

Primero se cuantificó el número de silicuas por planta, de todas las plantas de cada muestra. Luego las muestras fueron secadas 5 días al sol y 24 horas en estufa a 60 grados Celsius. Una vez secas se obtuvo el valor de biomasa seca total por parcela, registrando el peso con una balanza. Finalmente se procedió al desgranado de las muestras, obteniéndose datos de rendimiento en grano, utilizando una balanza de precisión.

A inicios de 2019 fue realizado un análisis de suelo del área donde había sido instalado el ensayo, el cual proporcionó valores de materia orgánica, pH, CIC, bases totales y saturación de bases. Se buscó complementar la información existente sobre la Unidad San Manuel, con medidas objetivas y detalladas del suelo en el lugar exacto del ensayo, para obtener datos que luego pudieran ayudar a explicar el comportamiento de los herbicidas.

3.5 DISEÑO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se procesaron los ANAVAs de todas las variables estimadas, usando transformaciones cuando correspondiera. Una vez que se determinaron efectos significativos las medias fueron comparadas utilizando el test de Tukey ($p < 0.05$). En todos los casos se trabajó con el software INFOSTAT.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resulta necesario aclarar que por razones climáticas y logísticas de la EEMAC, donde se instaló el ensayo, la cosecha de la soja se retrasó importantemente y tuvo lugar recién el día 2 de julio. La siembra de la colza en consecuencia, también fue muy tardía, 7 de agosto, lo que determinó un fuerte condicionamiento a nivel del desarrollo y pudo haber incidido en los efectos de residualidad estimados en la colza.

Pese a lo expuesto, siendo una propuesta de tesis planificada con mucha anterioridad, se decidió continuar con el trabajo, y avanzar en el estudio de este tema al menos en forma preliminar.

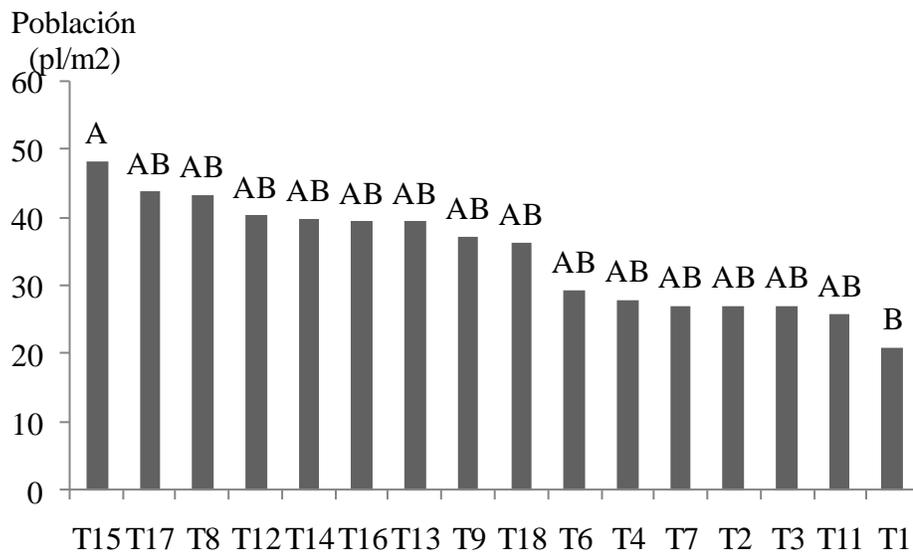
Cabe aclarar también, que por distintos motivos que llevaron a la pérdida de las parcelas en dos repeticiones, fue necesario eliminar el tratamiento T5 (metribuzin a dosis simple).

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos agrupados en función de las determinaciones realizadas.

4.1 POBLACIÓN

Se realizaron dos estimaciones de población. En la primera, a los 36 días post siembra, el ANAVA detectó significancia del efecto tratamiento ($p=0,0004$) y ningún efecto para cultivar, así como tampoco para la interacción.

Considerando la separación de medias que resultó del test de Tukey, puede observarse que los únicos tratamientos que difirieron fueron el tratamiento T15 del T1 (Figura No. 4). El testigo (T9) junto con los otros tratamientos, tuvo un comportamiento intermedio sin diferir de los tratamientos T15 y T1.



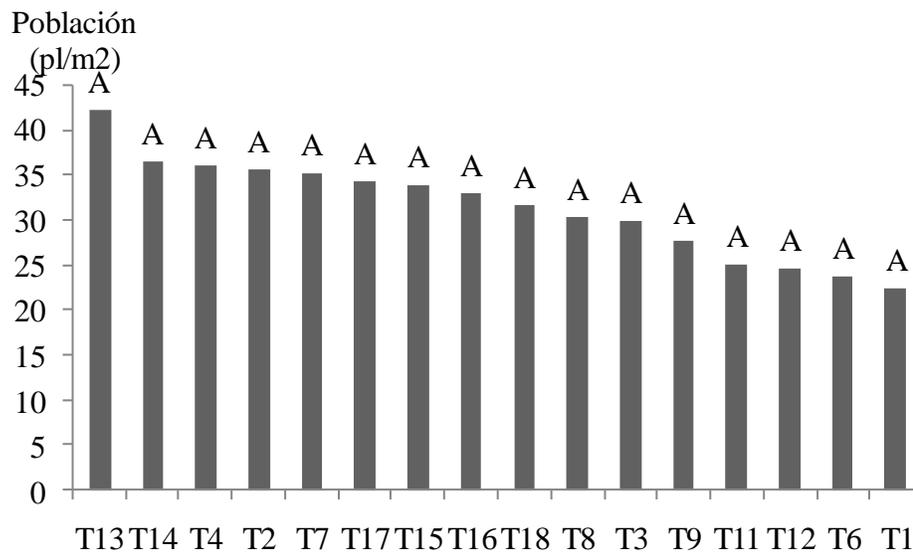
Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS. T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 3. Efecto de tratamientos en población 1

Como se explicará a continuación, pese a las diferencias encontradas, en realidad ninguno de los tratamientos difirió significativamente del testigo y no se encontraron explicaciones claras para este resultado.

De cualquier forma, considerando que la población mínima recomendable para este cultivo es de 30 plantas por m² aproximadamente, los promedios obtenidos en los tratamientos 11 y fundamentalmente en el 1, parecen presentar problemas de población.

En la segunda medición de población realizada 21 días después de la primera, 57 días post siembra, no fue posible detectar diferencias entre tratamientos. Sin embargo, las poblaciones de los distintos tratamientos mostraron mínimas variaciones en relación a la primera medición.



Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS. T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 4. Efecto de tratamientos en población 2

Cabe mencionar que como es corriente en el caso de la colza, y agudizado en el presente experimento, se observó importante variabilidad a nivel de parcelas en la población, lo cual seguramente redujo la posibilidad de detectar efectos.

4.2 DESARROLLO

También para medir el desarrollo se realizaron estimaciones en dos fechas. En el caso de la primera, el desarrollo se estimó a partir del número de hojas y del diámetro de las plantas.

El ANAVA para la variable número de hojas detectó efecto del cultivar ($p < 0,0001$), del tratamiento de herbicida utilizado en la soja ($p < 0,0001$), y también para la interacción cultivar por tratamiento ($p = 0,0001$).

El efecto cultivar en el número de hojas señaló más hojas en el cultivar Hyola 575CL (Figura No. 6). Esto resulta esperable considerando la bibliografía consultada de Mazzilli (2016), donde los materiales híbridos, en general, presentan mayor vigor en etapas iniciales.

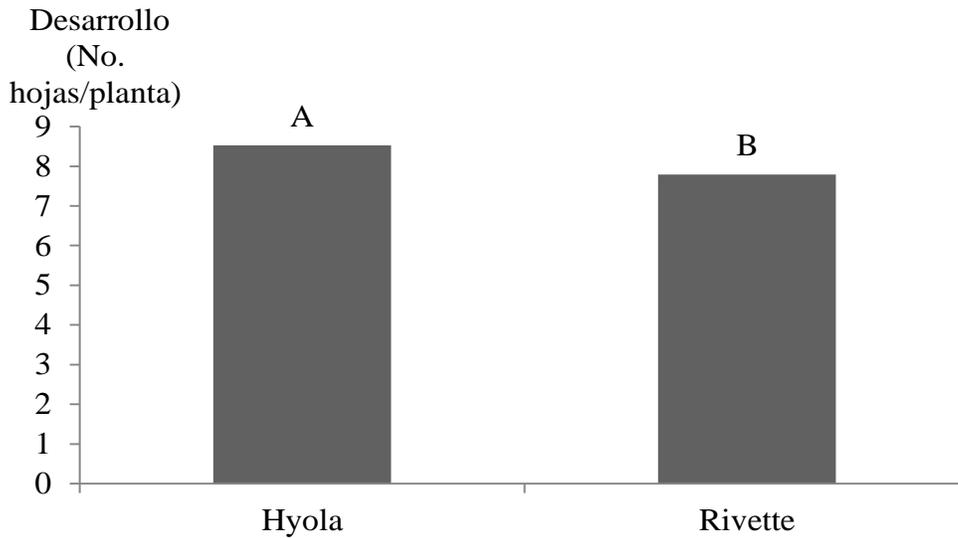
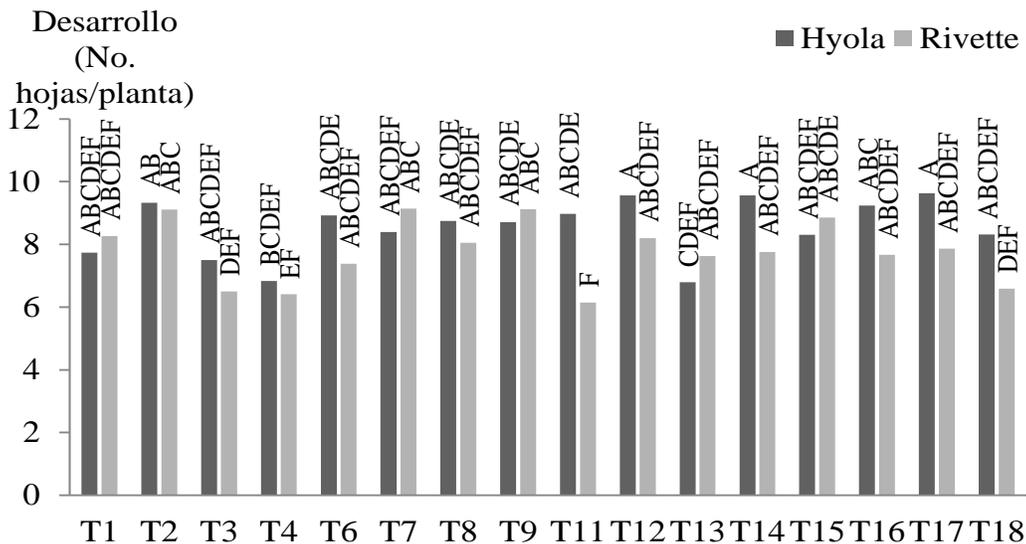


Figura No. 5. Número de hojas por planta según cultivar

Como puede observarse (Figura No. 7), todos los tratamientos, excepto el diclosulam a doble dosis (T11), tuvieron similar número de hojas tanto en el cultivar Hyola 575CL como Rivette. En el tratamiento T11, responsable de la significancia de la interacción, el número de hojas en Rivette resultó significativamente menor que en Hyola 575CL.



Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS. T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 6. Número de hojas según tratamiento y cultivar

En la misma figura se observa que en el caso de la variedad Hyola 575CL, todos los tratamientos resultan iguales al tratamiento testigo (T9). En cambio, al analizar variedad Rivette, se observa que el tratamiento testigo difiere de los tratamientos con sulfentrazone (T3), metolaclor (T4), fomesafen a dosis doble (T18) y diclosulam a dosis doble (T11).

En la determinación de diámetro, el ANAVA detectó significancia para el efecto cultivar ($p < 0,0001$), el efecto del herbicida ($p < 0,0001$) y su interacción ($p < 0,0001$). Al igual que para número de hojas, el efecto de cultivar detectado señaló mayor diámetro en la variedad Hyola 575CL (Figura No. 8), en concordancia con las estimaciones previas.

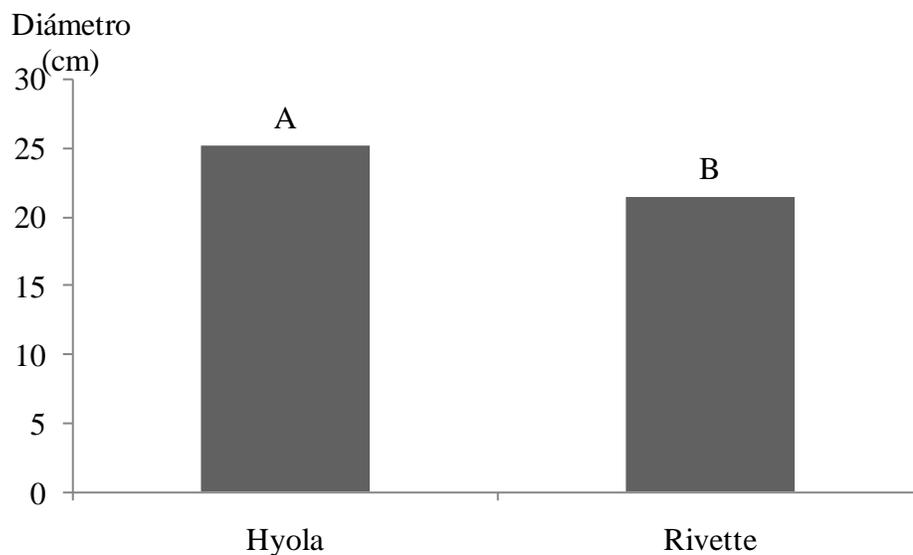
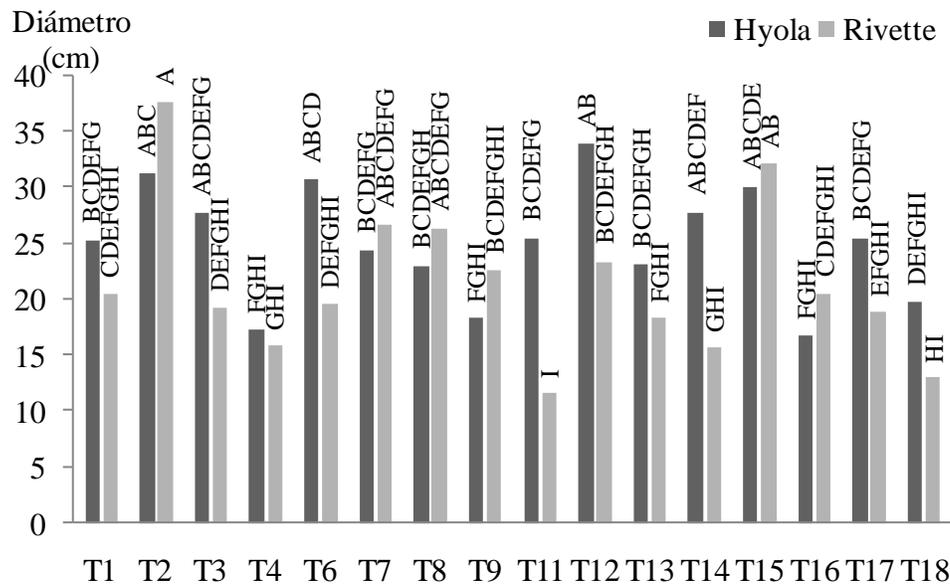


Figura No. 7. Diámetro de planta según cultivar

La respuesta a los tratamientos herbicidas en esta variable fue muy errática. Sin embargo, al estudiar la interacción surge que solamente en los tratamientos T11 y T14, existen diferencias en la respuesta a nivel de cultivares. Esto coincide parcialmente con lo que se observó en el número de hojas.



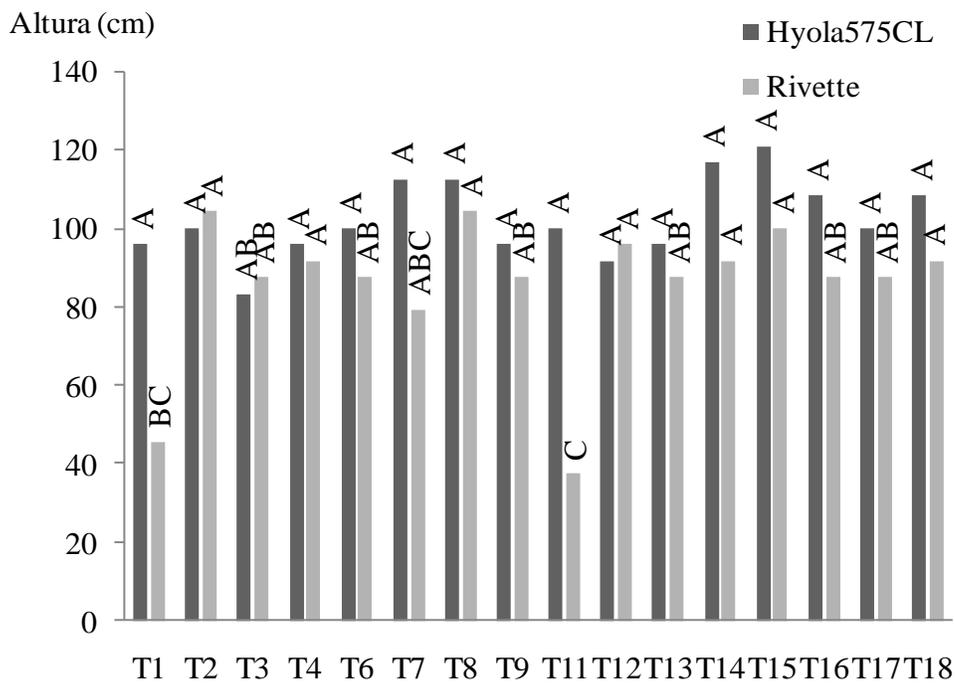
Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS, T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 8. Diámetro de planta según tratamiento y cultivar

En la segunda estimación de desarrollo, el día 21/10/2018, las variables medidas fueron altura, diámetro y estado fenológico según la escala CETIOM.

Para el caso de la altura, el ANAVA detectó diferencias para el efecto cultivar ($p < 0,0001$), tratamiento herbicida ($p < 0,0001$) y para la interacción entre ambos ($p = 0,0008$).

Si bien y tal como resultaba esperable se observó una tendencia promedio a mayores alturas en el caso Hyola, esto fue particularmente evidente en los tratamientos T1 y T11. En estos, la altura estimada en Rivette resultó sustancialmente más baja que en los restantes tratamientos. La reducción, respecto al valor estimado en Hyola, fue de 56% en el T1 y de 63% en el T11



Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS, T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 9. Altura de planta según tratamiento y cultivar

En la segunda medición de diámetro, al igual que en la anterior, el ANAVA detectó efectos para el cultivar ($p=0,0005$).

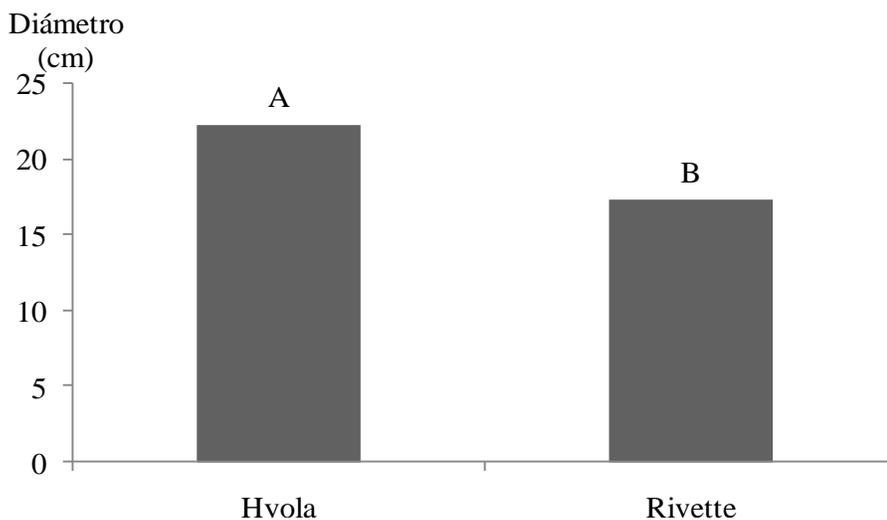
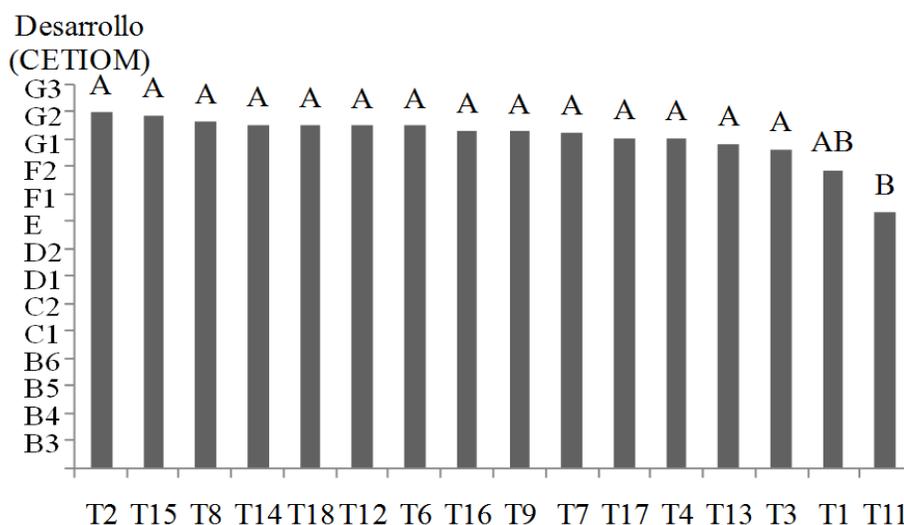


Figura No. 10. Diámetro de planta según cultivar

Por otro lado, la estimación del desarrollo fenológico detectó efectos notorios de cultivar ($p < 0,0001$), tratamiento herbicida ($p < 0,0001$) y la interacción de ambos ($p = 0,0015$).

El cultivar Hyola 575CL en esta fecha se encontraba promedialmente en estado G2 (maduración, formación de silicuas: 10 silicuas de entre 2 y 4 cm) mientras que Rivette se encontraba en el estado F2 (floración: momento de alargamiento de la vara floral, numerosas flores abiertas).

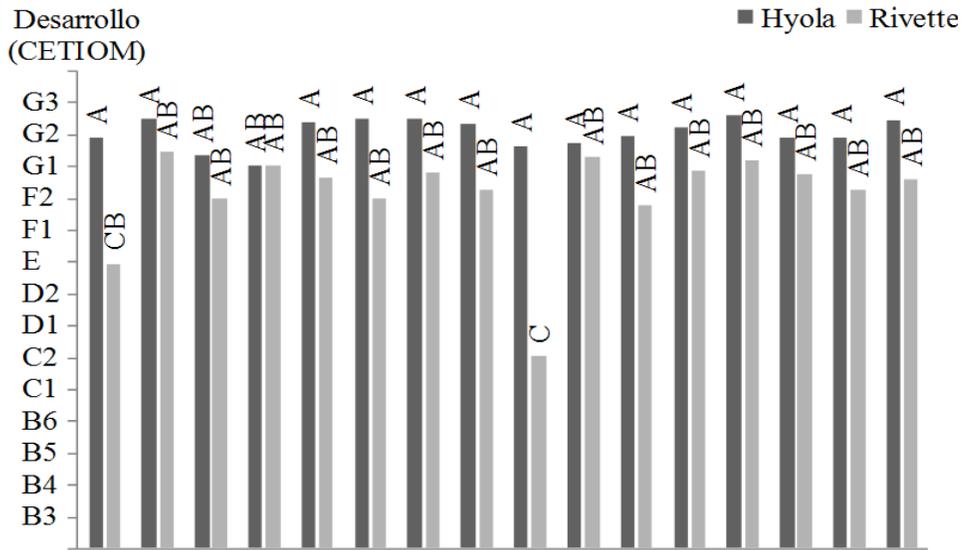
En cuanto al efecto de los herbicidas utilizados en soja, las tendencias observadas muestran asociación con las estimaciones previas de desarrollo. Una vez más, el menor desarrollo se observó en el tratamiento T11 el cual se diferenció de todos menos del tratamiento T1.



Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS, T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 11. Estado fenológico del cultivo según tratamientos

Por otra parte, nuevamente se observa que la interacción es responsabilidad de los tratamientos T1 y T11 sobre el cultivar Rivette.



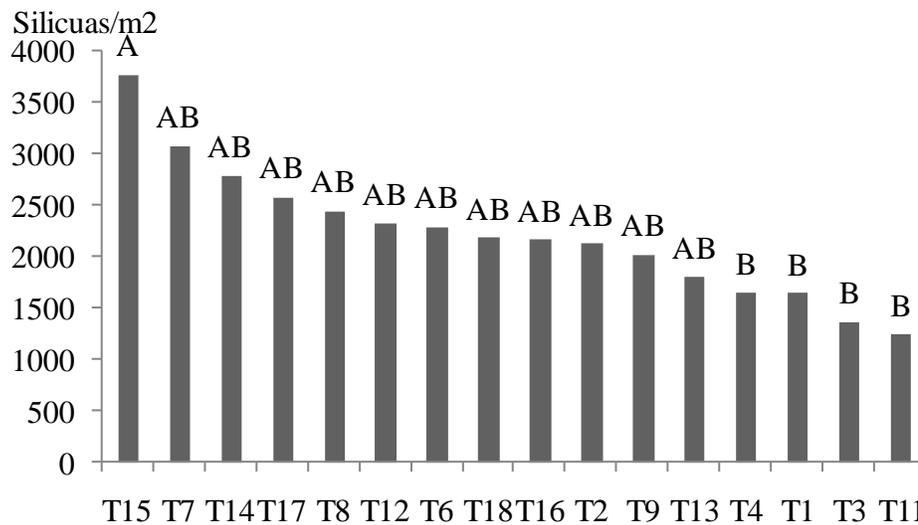
T1 T2 T3 T4 T6 T7 T8 T9 T11 T12 T13 T14 T15 T16 T17 T18
 Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS, T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 12. Estado fenológico del cultivo según tratamientos y cultivar

4.3 RENDIMIENTO

Los resultados del total de silicuas y rendimiento en grano mostraron similares tendencias.

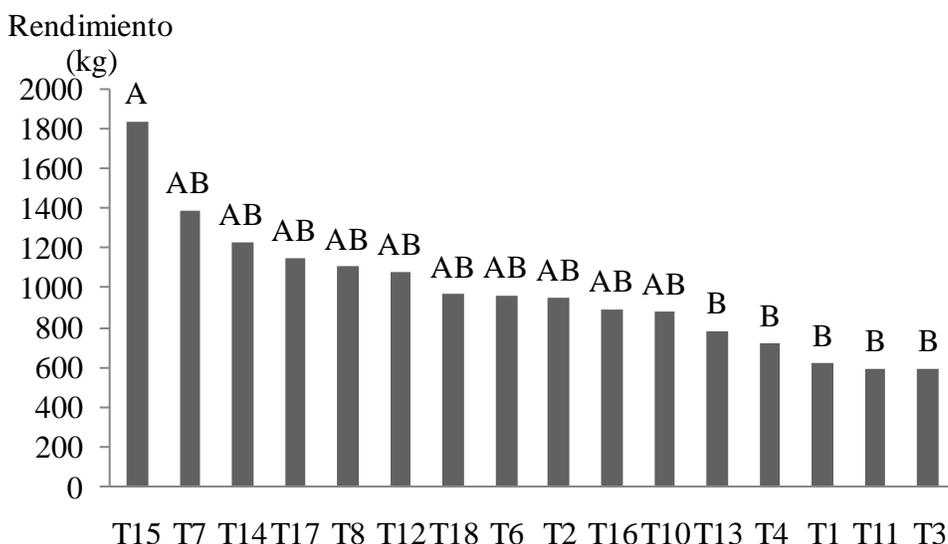
El total de silicuas mostró que el tratamiento T15 tuvo la mayor producción de silicuas por área, y aunque no se diferenció del 13, si mostró diferencias con los tratamientos T4, T1, T3 y T11.



Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS, T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 13. Producción de silicuas según tratamiento

En concordancia con los resultados anteriores, el rendimiento final mostró solamente efecto del tratamiento herbicida previo aplicado en la soja ($p=0,002$). El tratamiento T15 mostrando el mayor rendimiento superó estadísticamente al rendimiento estimado en los tratamientos T3, T13, T4, T1 y T11. Los rendimientos de los tratamientos T1, T3 y T11 fueron solo el 30% del tratamiento T15, aunque no se diferenciaron del rendimiento en el testigo.



Tratamientos: T1:=Dicl. DS, T2= Flum. DS, T3= Sulf. DS, T4= Meto. DS, T5= Metr. DS, T6= Diflu. DS, T7= Imaz. DS, T8= Fome. DS. T9= Testigo, T11= Dicl. DD, T12= Flum. DD, T13= Sulf. DD, T14= Meto. DD, T15= Metr. DD, T16= Diflu. DD, T17= Imaz. DD, T18= Fome. DD.

Figura No. 14. Rendimiento en grano según tratamiento

Los resultados obtenidos en rendimiento e inclusive en las variables de crecimiento y desarrollo no son los esperados.

La respuesta de los tratamientos imazetapir a dosis simple e imazetapir a dosis doble fue inclusive contraria a la esperada. Sobre todo por el hecho de no apreciarse diferencia entre los dos cultivares, siendo uno de ellos tolerante al herbicida y el otro no. Considerando la bibliografía en la que se citan intervalos aplicación-siembra seguros de entre 26 y 40 meses se esperaba que estos herbicidas produjeran efectos negativos en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo en el cultivar susceptible, situación que lejos se encuentra de los resultados obtenidos en el ensayo.

Si bien debe tenerse presente que los intervalos mencionados resultan de investigaciones conducidas en distintas regiones de Norte América con condiciones climáticas más desfavorables para la degradación del herbicida que las de Uruguay, de todas formas resultan llamativos los resultados encontrados.

Los valores hallados en los resultados de los análisis de suelo fueron considerados normales. En un suelo Argiudol Típico, con un pH de 5.4, un contenido de materia orgánica de 2.5 % y una textura arcillo-limosa con 30% de arcilla, los herbicidas utilizados deberían haberse comportado de manera similar a lo que indicaba la bibliografía. Es por esto que no se encuentra explicación para los resultados revelados por el ensayo. Era esperable encontrar efecto de la fitotoxicidad sobre el cultivo de colza y no se produjo ese fenómeno.

En la degradación de las imidazolinonas, el contenido de materia orgánica de arcillas y el pH resultan aún más importantes que las condiciones ambientales afectando la actividad microbiana. Sin embargo, considerando el resultado del análisis de suelo en el que se instaló el ensayo así como la composición textural previsible en los suelos de la Unidad San Manuel no parece tampoco existir una importante variante en estos factores que pudiera sugerir muy altas tasas degradativas.

Por otra parte, se esperaba encontrar diferencias entre los tratamientos con herbicidas y el testigo sin aplicación y no fue el caso. El comportamiento del testigo aparece como una importante inconsistencia a lo largo de todo el experimento. Mostró un comportamiento intermedio y no se diferenció en ninguna de las evaluaciones de los tratamientos con diclosulam a dosis simple y doble, sulfentrazone a dosis simple y doble, y metolaclor a dosis simple, en los que, contemplando varias de las tendencias observadas, se podría sospechar efectos de residualidad fitotóxica.

Es precisamente en estos últimos tratamientos mencionados en los únicos en que puede destacarse alguna consistencia. Tanto el crecimiento como el desarrollo y rendimiento de los tratamientos con sulfentrazone a ambas dosis, metolaclor a dosis simple, y fundamentalmente de diclosulam a ambas dosis, siempre estuvieron entre los valores más bajos. Así como el tratamiento con metribuzin a dosis doble expresó siempre los valores mayores.

Este comportamiento de diclosulam y sulfentrazone, en ambas dosis, resulta en estos casos lo esperado. Son los 2 herbicidas, además de las imidazolinonas en los cuales se recomienda de los mayores tiempos de espera para la siembra de colza.

Sin embargo, no puede comentarse lo mismo en el caso del metolaclor, en el que aun existiendo alguna restricción en la bibliografía no presenta los riesgos de imidazolinonas, ni diclosulam, ni sulfentrazone.

También se observa para metolaclor, al igual que en sulfentrazone, un comportamiento en relación a dosis que podría considerarse invertido. En estos casos se observaron mayores efectos aparentes de la aplicación de herbicidas a dosis simple que a dosis doble. A pesar de que este resultado fue observado con frecuencia, no se encontró una explicación clara de por qué se produjo.

Intentando encontrar explicaciones a los resultados obtenidos se plantean a continuación varios aspectos que podrían presentar algún tipo de relación. En primer lugar, como se aclaró al inicio de este capítulo, existieron deficiencias metodológicas que pueden haber contribuido en la expresión de estos resultados. La siembra excesivamente tardía impuso limitaciones para el crecimiento y desarrollo de la colza, y seguramente también en la dinámica de residuos de los herbicidas.

Siguiendo en la misma línea, se reconoce que el experimento no fue desmalezado, algo que puede haber generado interacciones que luego dificultaron el análisis de los resultados. En las primeras etapas del cultivo prácticamente no existía

enmalezamiento por lo que se entendió innecesario desmalezar, sin embargo posteriormente se establecieron y prosperaron las malezas. Las observaciones realizadas al final del ensayo mostraron que los enmalezamientos presentaban grandes diferencias, tanto en densidad como en composición, muy probablemente consecuencia del efecto residual de los herbicidas aplicados en la soja. Sin embargo, no se encontró durante el ensayo una forma satisfactoria de estimar los potenciales efectos de interferencia que pudieran haber ejercido estos enmalezamientos tan variables, que pudiera ser utilizada para corregir o mejorar el análisis de los resultados.

5. CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo pudieron verse condicionados por una fecha muy tardía de siembra e interacciones asociadas a una infestación tardía de malezas.

Aun cuando no fue posible encontrar diferencias significativas respecto al testigo, se observó una tendencia consistente en la expresión de efectos depresores con diclosulam en la población, desarrollo y rendimiento en las dos variedades. La aplicación del herbicida diclosulam en el cultivo de soja, redujo la población y retrasó el desarrollo de la colza en sucesión, con mayor impacto sobre la variedad Rivette.

Los efectos de los distintos tratamientos sobre el rendimiento del cultivo, tampoco defirieron significativamente del testigo. Sin embargo, se observa una clara tendencia que indica que la aplicación de diclosulam y sulfentrazone, en ambas dosis, y metolaclor a dosis simple, repercuten negativamente sobre esta variable.

6. RESUMEN

Este trabajo fue realizado con el objetivo de conocer el efecto residual de herbicidas utilizados en el cultivo de soja sobre cultivo de colza en sucesión. El ensayo fue llevado a cabo en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía, Uruguay. Se utilizaron en el ensayo dos cultivares de colza, el híbrido Hyola 575CL y la variedad Rivette; ocho herbicidas a dosis simple y doble, y un testigo sin herbicida. Los herbicidas evaluados fueron: diclosulam, flumioxazin, sulfentrazone, metolaclo, metribuzin, diflufenican, imazetapir y fomesafen. Los preemergentes fueron aplicados a la siembra del cultivo de soja, en diciembre de 2017, mientras que los post emergentes fueron aplicados un mes post siembra. En agosto de 2018 fue sembrado el cultivo de colza, donde luego, a lo largo del ciclo del cultivo, se realizaron determinaciones de población, crecimiento, desarrollo y rendimiento. Si bien no hubo diferencias significativas con el testigo, se encontró una fuerte tendencia que indica que a pesar del intervalo de casi nueve meses entre la aplicación del producto al suelo y posterior siembra de la colza, tanto diclosulam como sulfentrazone, impactaron negativamente en varios momentos del ciclo del cultivo, afectando al final su rendimiento.

Palabras clave: Colza; Canola; Soja; Herbicidas residuales; Tiempo de espera; Residualidad.

7. SUMMARY

This work was carried out in order to know the residual effect of herbicides used in soybeans crops on rapeseed seeded in succession. The experiment was settled down in an Experimental Station of Agronomy school, Uruguay. Two rapeseed cultivars, Hyola 575CL hybrid and Rivette variety, were used in the trial; eight herbicides at single and double doses, and one control without herbicide. The herbicides evaluated were: diclosulam, flumioxazin, sulfentrazone, metolachlor, metribuzin, diflufenican, imazetapyr and fomesafen. The pre-emergents ones were applied on the sowing of the soybean crop, in December 2017, while the post-emergent ones were applied one month after sowing. In August 2018 the rapeseed crop was planted, then while the crop cycle, determinations of plants stand, growth, development and yield were made. Although there were no significant differences with the control, a strong tendency was found indicating that despite almost nine months between the application of the product to the soil and subsequent sowing of rapeseed, both diclosulam and sulfentrazone, impacted negatively in several moments of the crop cycle, affecting its yield at the end.

Key words: Rapeseed; Canola; Soybeans; Residual herbicides; Plantback; Carryover.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ADP (Agronegocios Del Plata, UY). 2017. La colza se posiciona en Uruguay como un cultivo de invierno alternativo y rentable. (en línea). Montevideo, Uruguay. 8 p. Consultado abr. 2018. Disponible en <https://adp.com.uy/la-colza-se-posiciona-en-uruguay-como-un-cultivo-de-invierno-alternativo-y-rentable>
2. Aguirre, M.; Uriarte, I. 2010. Respuesta del cultivo de colza-canola (*Brassica napus*) a las condiciones físico-químicas del suelo a nivel de chacra. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 59 p.
3. Alves, D. 2000. Colza - canola. Una nueva alternativa de invierno. Revista del Plan Agropecuario. no. 90: s.p.
4. Barreira, M.; Bauer, L.; Bica, M. 2018. Colza: variables agronómicas que determinan el margen bruto y el riesgo asociado. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 19 p.
5. BAYER. 2018. Proyecto de etiqueta del producto SENCOREX® 48. Buenos Aires. 6 p.
6. Bending, G.; Shaw, E.; Walker, A. 2001. Spatial heterogeneity in the metabolism and dynamics of isoproturon degrading microbial communities in soil. *Biology and Fertility of Soil*. 33: 484-489.
7. _____.; Lincoln, S.; Sorensen, S.; Morgan, J.; Aamand, J.; Walker, A. 2003. In-field spatial variability in the degradation of the phenyl-urea herbicide isoproturon is the result of interactions between degradative *Sphingomonas spp.* and soil pH. *Applied and Environmental Microbiology*. 69: 827-834.
8. _____.; _____.; Edmondson, R. 2006. Spatial variation in the degradation rate of the pesticides isoproturon, azoxystrobin and diflufenican in soil and its relationship with chemical and microbial properties. *Revista Environmental Pollution*. 139: 279-287.

9. Bhattacharyya, A.; Ganguly, P.; Barik, S. R.; Kundu, C. 2012. Studies on the persistence of diclosulam in soybean crop. *Pakistan Journal of Weed Science Research*. 18: 29-37.
10. Bromillow, R.; Evans, A.; Nicholls, P. 1999. Factors affecting degradation rates of five triazole fungicides in two soil types: 2. Field studies. *Pesticide Science*. 55: 1135–1142.
11. Brown, J.; Davis, J.; Lauver, M.; Wysocki, D. 2008. *Canola grower's manual*. Washington, D. C., US Canola Association. 71 p.
12. Brum, C.; Franco, A.; Scorza, R. 2013. Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 17(5): 558–564.
13. Buntin, D.; Grey, T.; Harris, G.; Phillips, D.; Buck, J.; Prostko, E.; Raymer, P.; Smith, N.; Sumner, P.; Woodruff, J. 2018. *Canola production in Georgia*. University of Georgia. UGA Cooperative Extension Bulletin No. 1331. 25 p.
14. Bustamante, J.; Allés, A.; Espadas, M.; Muñoz, J. 1998. La colza, un cultivo para ensilar. CCEA. (Centro de Capacitación y Experiencias Agrarias). *Información técnica No. 7*. 4 p.
15. Chaudhry, S.; Hussain, M.; Iqbal, J. 2011 Effect of different herbicides on weed control and yield of canola (*Brassica napus*), *Journal of Agriculture Resources*. 49 (4): 483-490.
16. Cobucci, T.; Prates, H.; Falcão, C.; Rezende, M. 1998. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. *Weed Science*. 46 (2): 258-263.
17. Costa, C.; Meurer, E.; Bissani, C.; Selbach, P. 2004. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E. J. ed. *Fundamentos de química do solo*. 2a.ed. Porto Alegre, SIARGS. pp. 207-237.
18. Cui, N.; Wang, S.; Safaei Khorram, M.; Fang, H.; Yu, Y. 2017. Microbial degradation of fomesafen and detoxification of fomesafen-contaminated soil by the newly isolated strain Bacillus sp. FE-1 via a proposed biochemical degradation pathway. *Science of the Total Environment*. 616 (3): 1612-1619.

19. da Silva, A.; Queiroz, J.; Martins, D. 2015. Quantidade de chuva e lixiviação do herbicida metribuzin a través de planta bioindicadora. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 19 (6): 592–597.
20. da Silva, G.; Diniz, C.; Teixeira, C.; Tuffi, L.; Dutra, M.; da Silva, A. 2014. Impact of sulfentrazone, isoxaflutole and oxy fluorfen on the microorganisms of two forest soils. *Soil and Plant Nutrition*. 73 (3): 292-299.
21. Dan, H.; Dan, L.; Barroso, A.; Procópio, S.; Oliveira Jr., R.; Assis, R.; Silva, A.; Feldkircher, C. 2011. Atividade residual de herbicidas pré-emergente aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. *Planta Daninha*. 29(2): 437-445.
22. De Almeida, H.; Gomes de Moraes, L.; Leão de Lemos, A.; De Oliveira, S.; De Oliveira, R.; Braga, J.; Gonçalves, D. 2012. Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girasol cultivado em sucessão. *Ciência Rural*. 42(11):1929-1935
23. De Oliveira, M.; Da Silva, A.; Ferreira, F.; Magalhães, J. 1998. Atividade dos herbicidas flumioxazin e metribuzin em diferentes solos. *Planta Daninha*. 16(1). 37-43.
24. El Madani, M.; Elazzouzi, M.; Zrineh, A.; Martens, D.; Kettrup, A. 2003. PH effect and kinetic studies of the binding behaviour of imazethapyr herbicide on some Moroccan soils. *Fresenius Environmental Bulletin*. 12: 1114–1119.
25. EXTTOXNET (Extension Toxicology Network, US). 1996. Metribuzin (Sencor) pesticide information profiles (en línea). Oregon. 2 p. Consultado may. 2018. Disponible en <http://exttoxnet.orst.edu/pips/metribuz.htm>
26. Flores-Céspedes, F.; Daza-Fernández, I.; Villafranca-Sánchez, M.; Fernández-Pérez, M.; Morillo, B.; Undabeytia, T. 2017. Lignin and ethylcellulose in controlled release formulations to reduce leaching of chloridazon and metribuzin in light-textured soils. *Journal of Hazardous Materials*. 343: 227-234.
27. Ganguly, P.; Barik, S. R.; Bhattacharyya, A. 2016. Dissipation kinetics of diclosulam 84% WDG in soils of four different agro-climatic regions under laboratory simulated condition. *Journal of Crop and Weed*. 12(2):116-119.

28. Gennari, M.; Ne`gre, M.; Vindrola, D. 1998. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazethapyr and Imazaquin on soils and humic acids. *Journal of Environmental Science Health, Part B.* 33: 547–567.
29. Ibrahim, A.; Shaban, A.; El-Metwally, A. 1987. Effect of some herbicides on oil seed rape (*Brassica napus*) and associated weeds. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 158: 236-240.
30. INIA; INASE (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY; Instituto Nacional De Semillas, UY). 2017. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de colza: 2016. Canelones. 9 p.
31. Insuagro. s.f. Metribuzin. Buenos Aires. 3 p. (Hoja técnica)
32. Jaikaew, P.; Boulange, J.; Thuyet, D.; Malhat, F.; Ishihara, S.; Watanabe, H. 2015. Potential impacts of seasonal variation on atrazine and metolachlor persistence in and isol soil. *Environmental Monitoring and Assessments.* 187: 760
33. Khorram, M. S.; Wang, Y.; Jin, X. X.; Fang, H.; Yu, L. 2015. Reduced mobility of fomesafen through enhanced adsorption in biochar-amended soil. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 34: 1258–1266.
34. Lavorenti, A.; Prata, F.; Regitano, J. B. 2003. Comportamento de pesticidas em solos – fundamentos. *Tópicos em Ciencia do Solo.* 3: 335-400.
35. Loux, M.; Reese, K. 1993. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. *Weed Technology.* 7: 452–458.
36. Madalão, J.; Cargnelutti Filho, A.; Chagas, K.; Pires, F.; Procópio, S. 2012. Uso de leguminosas na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Pesquisa Agropecuária Tropical.* 42 (4): 390-396.
37. _____.; _____.; _____.; _____.; _____.; Nascimento, A.; Araújo, R.; Bonomo, R. 2013. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. *Revista Ceres.* 60 (1): 111-121.
38. _____.; _____.; _____.; Ribeiro, F.; Favaro, A.; de Oliveira, S. 2016. Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone em função do tempo de cultivo de *Canavalia ensiformis*. (en línea). *Revista*

Agro@mbiente On-line. 10: 36-43. Consultado abr. 2018. Disponible en <http://www.agroambiente.ufr.br>

39. Mazzilli, S.; Elizarrú, A.; Locatelli, A. 2014. Desarrollo tecnológico de la colza en Uruguay. *In: Simposio Latino Americano de Canola (1º., 2014, Passo Fundo). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 1-5.*
40. _____. 2016. Consideraciones a tener en cuenta para el desarrollo del cultivo de colza-canola. *In: Curso de Cereales y Cultivos Industriales (2017, Paysandú). Presentaciones. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp 1-9.*
41. Melo, C.; Medeiros, W.; Tuffi Santos, L.; Ferreira, F.; Tiburcio, R.; Ferreira, L. 2010. Leaching of sulfentrazone, isoxaflutole and oxyfluorfen in three soil profiles. *Planta Daninha. 28: 385–392.*
42. MGAP. DIEA (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias). 2018. Encuesta agrícola "invierno 2018". Montevideo. 34 p.
43. Monquero, P.; Sanches, W.; Silva, A. 2013. Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. (en línea). *Revista Agro@mbiente. 7(3): 331-337.* Consultado jun. 2018. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/1d79/c73f1696d074128245ec943ee1f7e4e788b5.pdf>
44. Muller, K.; Smith, R.; James, T.; Holland, P.; Rahman, A. 2003. Spatial variability of atrazine dissipation in an allophonic soil. *Pest Management Science. 59: 893-903.*
45. Norgaard, T.; de Jonge, L.; Moldrup, P.; Olsen, P.; Johnsen, A. 2015. Can simple soil parameters explain field-scale variation in glyphosate-, bromoxynil octanoate, diflufenican, and bentazone mineralization? (en línea). *Water Air Soil Pollution. 226: p. irr.* Consultado jun. 2018. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11270-015-2518-z>
46. Ohmes, G.; Mueller, T. 2007. Sulfentrazone adsorption and mobility in surface soil of the southern United States. *Weed Technology. 21: 796–800.*
47. Ortiz, C.; Maganhotto, M.; Francisconi, E.; Blotta, R.; de Holanda, A.; Durrant, L. 2008. The effects of moisture and temperature on the degradation of sulfentrazone. *Geoderma. 147: 56–62.*

48. Oufquir, S.; Madani, M.; Alaoui, M.; Zrineh, A.; Azzouzi, M. 2013. Adsorption of imazethapyr on six agricultural soils of Morocco: Evaluation of the impact of soil properties. *Arabian Journal of Chemistry*. 10: 2944-2949.
49. Passos, A.; Freitas, M.; Goncalves, V.; Silva, G.; da Silva, A.; Queiroz, M.; Lima, C.; Silva, D. 2015. Leaching of sulfentrazone in soils of reforestation in Brazil. *Environmental Earth Science*. 74: 1211–1215.
50. Perrin-Ganier, C.; Schiavon, F.; Morel, J.; Schiavon, M. 2001. Effect of sludge-amendment or nutrient addition on the biodegradation of the herbicide isoproturon in soil. *Chemosphere*. 44: 887–892.
51. Potter, T.; Truman, C.; Webster, T.; Bosch, D.; Strickland, T. 2011. Tillage, cover-crop residue management, and irrigation incorporation impact on fomesafen runoff. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 59: 7910-7915.
52. Renner, K.; Meggitt, W.; Penner, D. 1988. Effect of soil pH on imazaquin and imazethapyr adsorption to soil and phytotoxicity to corn (*Zea mays*). *Weed Science*. 36: 78–83.
53. Rigi, M.; Farahbakhsh, M.; Rezaei, K. 2015. Adsorption and desorption behavior of herbicide metribuzin in different soils of Iran. *Journal of Agriculture Science and Technology*. 17: 777-787.
54. Rodrigues, N.; Andrietta, M.; Andrietta, S.; Santos, P. 2010. Diclosulam biodegradation by bacteria isolated from soybean cultivated soils. *Planta Daninha*. 28 (2): 393-400.
55. Rosales, N.; León, M.; Pérez, L.; Polo, L. 2002. Determination of chlorophenoxy acid herbicide and their esters in soil by capillary high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection, using large volume injection and temperature gradient. *Analitica Chimica Acta*. 470: 147-154.
56. Scorza Júnior, R. ; Silva, J. 2007. Potencial decontaminação da água subterrânea por pesticidas na Bacia do Rio Dourados, MS. *Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente*. 17(1): 87-106.
57. Silva, G.; D'antonino, L.; Faustino, L.; Silva, A.; Ferreira, F.; Teixeira, C.; Costa, A. 2014. Mobilidade do fomesafen em solos brasileiros. *Planta Daninha*. 32(3): 639-645.

58. Singh, R.; Gerritse, R.; Aylmore, L. 1990. Adsorption-desorption behavior of selected pesticides in some Western Australian soils. *Australian Journal of Soil Research*. 28: 227–243.
59. SYNGENTA, AR. 2018. Proyecto de etiqueta del producto FLEX ®. Buenos Aires. 10 p.
60. Sondhia, S.; Khankhane, P.; Kumar Singh, P.; Sharma, A. 2015. Determination of imazethapyr residues in soil and grains after its application to soybeans. *Journal of Pesticide Science*. 40(3): 106–110.
61. Sparks, R. 2003. *Environmental soil chemistry*. 2nd. ed. Newark, NJ, Elsevier. 367 p.
62. Stougaard, R.; Shea, P.; Martin, A. 1990. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of imazaquin and imazethapyr. *Weed Science*. 38: 67–73.
63. Weed, S.; Weber, J. 1974. Pesticide-organic matter interactions. In: Guenzi, W. ed. *Pesticides in soil and water*. Madison, WI, SSSA. pp. 39-66.