



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Componente Practico del Examen de Grado de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, como requisito previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TEMA:**

“Herbicidas residuales, mecanismos de acción en malezas”

**AUTOR:**

Edwin Fabricio Armijos Chalan

**TUTOR:**

Ing. Agr. Dalton Cadena Piedrahita, PhD.

Babahoyo- Los Ríos - Ecuador

2022

## RESUMEN

Los herbicidas residuales estando en contacto con el suelo, siguen siendo activos durante meses, debido a su movimiento, estos herbicidas deben utilizarse para manipular las especies que provienen de semillas, tanto de hoja ancha (latifoliadas) como de gramíneas. Los herbicidas residuales están diseñados para controlar las malas hierbas de sus primeros grados de mejora, es decir, mientras la epidermis de la futura planta está en su mínima expresión. La mayoría de los herbicidas residuales tienen un efecto sobre la fotosíntesis o la división celular y crecimiento, pero unos pocos herbicidas parecen afectar a un par de factores. El nitrilo de bromoxinilo reprime la fotosíntesis y no permite la fosforilación oxidativa. Los herbicidas de la misma organización química suelen tener el mismo movimiento, pero esto no es siempre continuamente el caso. La información obtenida fue efectuada mediante la técnica de análisis, síntesis y resumen, con la finalidad de que el lector conozca sobre la importancia de los herbicidas residuales y sus mecanismos de acción en malezas. Por lo anteriormente detallado se determinó, que existen tres elementos que influyen en la eficacia de los herbicidas residuales aplicados al suelo: la humedad del suelo, la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, las características del componente activo y la dosis del herbicida utilizado. Existen factores que catalogan la persistencia de un herbicida en el suelo siendo tres factores principales: (1) factores que definen la adsorción de los herbicidas a las micelas coloidales del suelo, (2) factores climáticos y (3) características o elementos basados en el manejo del cultivo. Todos los procesos de absorción de herbicidas residuales están mediados por las características del suelo, las propiedades físico-eléctricas de las moléculas herbicidas y los factores que afecten el movimiento del agua dentro de las plantas. Las moléculas de herbicidas residuales más utilizados son Simazina 50%, Oxifluorfen, Diuron 50%, Pendimetalin, Trifluralina, Oryzalin, Flumioexazin Dichlobenil, Indaziflam y Terbutilazina 50%.

**Palabras claves:** Herbicidas residuales, mecanismos de acción, aplicación, malezas.

## SUMMARY

Residual herbicides being in contact with the soil, remain active for months, due to their movement, these herbicides should be used to handle species that come from seeds, both broadleaf (broadleaf) and grasses. Residual herbicides are designed to control weeds in their early stages of improvement, i.e., while the epidermis of the future plant is at its minimum expression. Most residual herbicides have an effect on photosynthesis or cell division and growth, but a few herbicides appear to affect a couple of factors. Thus, bromoxynyl nitrile inhibits photosynthesis and uncouples oxidative phosphorylation. Herbicides of the same chemical organization usually have the same movement, but this is not always continuously the case. The information obtained was carried out through the technique of analysis, synthesis and summary, with the purpose of informing the reader about the importance of residual herbicides and their mechanisms of action on weeds. From the above, it was determined that there are three elements that influence the efficacy of residual herbicides applied to the soil: soil moisture, soil texture and organic matter content, the characteristics of the active component and the dose of herbicide used. The factors that define the persistence of a herbicide in soil can be grouped into three main factors: (1) factors that define the adsorption of herbicides to soil colloidal micelles, (2) climatic factors, and (3) characteristics or elements based on crop management. All residual herbicide adsorption processes are mediated by soil characteristics, physico-electrical properties of herbicide molecules, and factors affecting water movement within plants. The most commonly used residual herbicide molecules are Simazine 50%, Oxyfluorfen, Diuron 50%, Pendimethalin, Trifluralin, Oryzalin, Flumioexazin Dichlobenil, Indaziflam and Terbuthylazine 50%.

**Key words:** residual herbicides, mechanisms of action, application, weeds.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	ii
SUMMARY .....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Definición del tema caso estudio .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1. Objetivo general.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Fundamentación teórica.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.1. Herbicidas residuales.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.2. Factores que afectan a la eficacia de los herbicidas residuales .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2.1. Humedad del suelo.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2.2. Textura del suelo y contenido de materia orgánica.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5.2.3. Características propias del ingrediente activo y dosis del herbicida             utilizado 6</b>	<b>6</b>
<b>1.5.3. Principales herbicidas residuales .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.4. Persistencia de los herbicidas en el suelo.....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.4.1. Estructuras con capacidad para absorber herbicidas del suelo .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.4.2. Factores que afectan la absorción de herbicidas aplicados al suelo.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.5. Mecanismos de movimiento de los herbicidas residuales .....</b>	<b>14</b>
<b>1.5.5.1. Herbicidas que interfieren con la fotosíntesis.....</b>	<b>14</b>
<b>1.5.5.1.1. Herbicidas del fotosistema 1 (FS1).....</b>	<b>14</b>
<b>1.5.5.1.2. Inhibidores del fotosistema 2 .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5.5.1.3. Desviadores del fotosistema 1: Bipiridilos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5.5.1.4. Inhibidores del fotosistema 2: Triazinas .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5.5.1.5. Inhibidores del fotosistema 2: Uracilos sustituidos y uracilos.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5.5.1.6. Inhibidores de la biosíntesis de lípidos: Tiolcarbamatos .....</b>	<b>20</b>
<b>1.5.5.1.7. Inhibidores de la división celular: Cloroacetamidas.....</b>	<b>22</b>

<b>1.5.5.1.8. Inhibidores de la división celular: Dinitroanilinas</b> .....	24
<b>1.6. Hipótesis</b> .....	25
<b>1.7. Metodología de la investigación</b> .....	26
CAPITULO II .....	27
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
<b>2.1. Desarrollo del caso</b> .....	27
<b>2.2. Situaciones detectadas</b> .....	27
<b>2.3. Soluciones planteadas</b> .....	28
<b>2.4. Conclusiones</b> .....	28
<b>2.5. Recomendaciones</b> .....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30

## INTRODUCCIÓN

Los herbicidas son compuestos químicos que se utilizan para manejar y controlar malezas en diversos cultivos de carácter comercial, mismos que cada día están tomando una mayor importancia en relación al aumento de su eficacia en los programas de control de malezas. Existen herbicidas que logran ingresar fácilmente por el follaje de las malezas (herbicidas de acción foliar) y por la vía del suelo (herbicidas residuales) (Anzalone 2016).

Dentro de un programa de control de malezas es importante considerar el uso de aplicaciones coordinadas de herbicidas residuales en asociación con herbicidas de acción foliar durante el desarrollo y crecimiento de un cultivo (Diez 2016).

Los herbicidas residuales son moléculas químicas que al ser aplicados al suelo persisten varios meses de forma activa. La acción de estos herbicidas debe ser ejecutada para controlar especies de malezas que provienen de semillas de hoja ancha, como es el caso de las gramíneas. Estos herbicidas residuales fueron formulados para controlar malezas en sus primeros estados de desarrollo, es decir al momento de que la epidermis de la plántula se encuentra en emergencia (Esqueda *et al* 2015).

Los herbicidas residuales deben ser aplicados al suelo antes de la emergencia de las especies de malezas existentes, dándole una denominación como herbicidas pre-emergentes. Las aplicaciones de estos herbicidas hormonales forman una película en la superficie del suelo, en la cual a medida que van germinando las semillas o emergiendo las malezas, entran en contacto o por difusión con la película formada por el herbicida residual en el suelo, causando la muerte de las malezas (Zelaya 2017).

En la actualidad los herbicidas residuales son manejados con mucha prudencia en el control de malezas en los cultivos comerciales, debido a la presencia de respuestas negativas a nivel de control y residualidad en el suelo.

Por lo expuesto se realizó la presente investigación para determinar la importancia de los herbicidas residuales y sus mecanismos de acción en malezas.

# **CAPITULO I**

## **MARCO METODOLÓGICO**

### **1.1. Definición del tema caso estudio**

El presente documento trata sobre la temática correspondiente a la importancia de los herbicidas residuales y sus mecanismos de acción en malezas.

### **1.2. Planteamiento del problema**

Dentro de la producción agrícola existen varios factores que limitan los rendimientos de los cultivos comerciales, tal como es la interferencia directa de las malezas, las mismas que pueden causar efectos directos e indirectos en un cultivo establecido, en la cual una de las alternativas de control de malezas es el uso de los herbicidas residuales comúnmente conocidos como pre-emergentes. En relación a su aplicación en los cultivos, los agricultores no toman en consideración varios factores que inciden en la efectividad de control de malezas de los herbicidas residuales tales como: humedad del suelo, textura del suelo, materia orgánica, características del ingrediente activo y la dosis del herbicida residual.

Los herbicidas residuales se degradan en el suelo, en menor y mayor tiempo, dependiendo del tipo de molécula química, con niveles adecuados de humedad y temperatura del suelo. Generalmente algunos herbicidas se degradan rápidamente, pero otros tienden a degradarse en mayor tiempo causando problemas de fitotoxicidad en los cultivos que se establecen en el ciclo siguiente.

### **1.3. Justificación**

En los últimos años el control químico ha crecido debido a las dificultades de tener mano de obra temporal y por su alto costo que representa. Al igual esto tiene una relación con la incorporación de ciertos grupos de herbicidas que permiten el control de las malezas en los cultivos establecidos. Es el caso de los herbicidas residuales que persisten en el suelo, son altamente insolubles, como



los del grupo de las triazinas, úreas y uracilos; en donde con la implantación de estos herbicidas residuales se puede lograr resolver la mayoría de los problemas generados 'por las malezas anuales.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Fundamentar la importancia de los herbicidas residuales y mecanismos de acción en malezas.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Detallar los principales herbicidas residuales y mecanismos de acción en malezas.
- Describir los mecanismos de acción de los herbicidas residuales en el control de malezas.

#### **1.5. Fundamentación teórica**

##### **1.5.1. Herbicidas residuales**

Todas las moléculas químicas que, estando en contacto con el suelo, siguen siendo activas durante meses, se consideran herbicidas residuales (HR). Debido a su movimiento, estos herbicidas deben utilizarse para manipular las especies que provienen de semillas, tanto de hoja ancha (latifoliadas) como de gramíneas. Los herbicidas residuales están diseñados para controlar las malas hierbas de sus primeros grados de mejora, es decir, mientras la epidermis de la futura planta está en su mínima expresión (Santangelo 2014).

La mayoría de los herbicidas residuales se llevan a cabo de una vez al suelo antes de la aparición de las malas hierbas, por eso se conocen como herbicidas preemergentes (PRE). En estos programas, el herbicida hace una película real en el suelo y a medida que las malas hierbas germinan o emergen,

una vez que pasan por la zona en la que se deposita el herbicida, a través de un fácil contacto y difusión, provoca su muerte (Santangelo 2014).

### **1.5.2. Factores que afectan a la eficacia de los herbicidas residuales**

Según Brookes y Barfoof (2016) existen tres elementos que influyen en la eficacia de los herbicidas residuales aplicados al suelo: la humedad del suelo, la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, las características del componente activo y la dosis del herbicida utilizado, mismos que se detallan a continuación:

#### **1.5.2.1. Humedad del suelo**

Los herbicidas en el suelo se concentran sólo dentro de los primeros centímetros del suelo y esta fina capa del suelo debe permanecer húmeda para impulsarlos y, en consecuencia, penetrar en las plántulas. No hay que olvidar que los herbicidas residuales no se evaporan, ya que quedan retenidos y tienen una tasa de fotodegradación completamente baja. Una vez incluidos en el suelo (por medio del agua o de forma rutinaria), permanecerán vivos durante meses, dependiendo de su carga de degradación y de la dosis utilizada. Para distribuir bien el herbicida, el suelo debe estar bien mojado en el momento de su utilización.

Como regla general, mientras el suelo esté seco, se aconseja aplicar con volúmenes de agua superiores a trescientos l/ha, pero si está húmedo, entre cien y ciento cincuenta l/ha es más que suficiente. En caso de pérdida de lluvia se aconseja coordinar con el último riego de otoño o realmente hacer un riego único para la aplicación de los residuos. Una vez incorporados al suelo los herbicidas se activarán (desorberán) cada vez que el suelo se humedezca y se sature con agua superficial. El agua es el detalle clave para el buen funcionamiento de los herbicidas residuales porque no sólo permite su distribución e inclusión en el suelo, sino que es el agua la que adsorbe el herbicida de los coloides.

### **1.5.2.2. Textura del suelo y contenido de materia orgánica**

Todos los herbicidas vivos en el suelo, una vez aplicados y en cuanto entran en contacto con el suelo, son retenidos (adsorbidos) a través de la fracción coloidal, es decir, por la arcilla y la materia natural (carbono). Estos restos coloidales de primera calidad están cargados eléctricamente, por lo que los compuestos cargados eléctricamente se adhieren y se desprenden de la misma manera que un metal lo hace a un imán. Cuanto mejor sea el contenido de material natural y/o arcillas en un suelo, más fuertemente se podrá adsorber o retener el herbicida.

La cuestión importante es que el desprendimiento o desorción de los coloides se produce por medio del agua y una vez "liberados" en la solución del suelo, podrían entrar mejor en los tejidos de las plántulas emergentes tan pronto como saltan a través de la zona en la que el herbicida está en respuesta. En cuanto el suelo deja de estar saturado de agua, el herbicida vuelve a adherirse al coloide, convirtiéndose de nuevo en constante. Cada vez que un suelo está saturado en la superficie (incluso un fuerte rocío en primavera), el herbicida se desprende de nuevo y será capaz de entrar en las malas hierbas, y cada vez que el suelo se seca, se adsorbe de nuevo.

### **1.5.2.3. Características propias del ingrediente activo y dosis del herbicida utilizado**

La mayoría de estos HRs tienen una baja solubilidad, un factor que, en sí mismo, los hace muy poco móviles dentro del suelo. Pero es mucho su capacidad de adsorción a coloides como forma de determinar el grado de movilidad dentro del perfil del suelo. Este valor, que es único para cada molécula y que se mide y establece dentro del laboratorio, se conoce como Constante de Adsorción o Koc. Este coeficiente es una datación inversa entre la cantidad de herbicida que se encuentra en la respuesta del suelo frente a la cantidad que permanece adsorbida

a los coloides del suelo. Cuanto mayor sea el valor, mayor será la retención dentro del suelo.

Desgraciadamente, las actuales directrices nacionales sobre productos agroquímicos aún no exigen que esta estadística se publique en las etiquetas de los productos, aunque esté protegida dentro de las estadísticas técnicas requeridas para el registro. Todos los herbicidas, una vez en contacto con el suelo, comienzan a degradarse. Muchos lo hacen mediante simples reacciones químicas, pero la mayoría se descomponen por el movimiento de los microorganismos (especialmente las bacterias que lo utilizan como sustrato). Algunos se degradan rápidamente, otros tardan más, sin embargo, todos se degradan a un ritmo muy lento al principio, creciendo rápidamente en los últimos grados.

El primer grado de persistencia en el suelo se denomina vida media o DT50 y corresponde al número de días necesarios para reducir a la mitad la dosis realizada. La propia tenacidad de una molécula a la degradación, así como la dosis de herbicida utilizada, juegan un papel clave dentro del poder de permanencia o duración de un herbicida dentro del suelo. Si un herbicida tiene un DT50=30 días y se aplicó a 2,0 l/ha, después de 30 días dentro del suelo habrá 1,0 litro y después de 60 días 0,5 litros y así sucesivamente. Al igual que con el precio de Koc, consulte a los técnicos, ya que en las políticas de todo el país la tasa de DT50 ahora no aparece en las etiquetas y / o manuales de los consumidores tanto.

La dosis y los rasgos químicos del herbicida en frases de adsorción a coloides determinarán la permanencia viva del herbicida en el suelo. Pero aquí es donde el tipo de suelo de cada potrero empieza a jugar un papel. El Koc muestra el diploma de cohesión (adsorción) del herbicida al suelo, donde cuanto mayor sea el valor, mayor será la "retención" de las moléculas. Los suelos con menos coloides, incluidos los suelos arenosos y limosos, retienen mucho menos los herbicidas cuando se saturan de agua, produciendo un lanzamiento masivo del

herbicida en el suelo. Esto implicará un mejor manejo porque las malas hierbas absorberán enormemente los herbicidas de la respuesta del suelo. Pero también habrá una posibilidad extra de acceso a las raíces superficiales de la madera.

La mayoría, si no todos, los casos de fitotoxicidad encontrados dentro de la disciplina se deben a herbicidas con valores de Koc medios o bajos en suelos con bajo contenido en arcilla y especialmente en OM. Por otro lado, y en sentido contrario, la mayoría de los desastres de control o baja persistencia de un herbicida se deben a que se les ha atribuido una vida media mucho más larga de la que realmente tienen o a que el suelo tiene un contenido de arcilla y/o de materia orgánica tan alto que las dosis utilizadas han sido inadecuadas porque una gran parte del herbicida ha quedado retenida en el suelo.

### 1.5.3. Principales herbicidas residuales

Fischer (2015) manifiesta que los principales herbicidas residuales que se utilizan en el control de malezas de hoja angosta (gramíneas) son los siguientes (tabla 1):

**Tabla 1.** Principales herbicidas residuales

<b>Herbicida</b>	<b>Dosis formulado/ha</b>	<b>Koc: Coeficiente de adsorción</b>	<b>DT50: Vida Media promedio (días)</b>
Simazina 50%	4.0 – 6.0	140	60(180)
Oxifluorfen	2.0 – 3.0	10000	35
Diuron 50%	4.0 – 8.0	480	90(200)
Pendimetalin	2.9 – 3.6	17.250	45
Trifluralina	1.5 – 2.5	7000	45(120)
Oryzalin	6.0 – 8.0	600	20 – 128
Flumioexazin	0.2 – 0.6	410	15
Dichlobenil	6 – 12 g/m <sup>2</sup>	400	60(120)
Indaziflam	0.15 – 0.20	1000	80
Terbutilazina 50%	3.0 – 5.0	250	88(116)

#### **1.5.4. Persistencia de los herbicidas en el suelo**

La absorción de herbicidas del suelo no es un procedimiento estático en un periodo de tiempo, esta se desarrolla desde el momento del contacto entre el herbicida y las raíces con potencial para absorberlos, en la cual el herbicida se dispersa dentro del suelo o la planta muere. La cantidad de este período de tiempo es una característica de más de un factor y generalmente se denomina resistencia del herbicida en el suelo. Al definir esta idea de forma similar, el poder de permanencia del herbicida en el suelo se entiende normalmente como el periodo de tiempo en el que el herbicida está vivo dentro del suelo (Palavetal 2018).

La capacidad de ejercer su impacto fitotóxico en las plantas propensas; esta especificación se hace debido a que es factible encontrar residuos de herbicidas en el suelo que no tienen potencial fitotóxico, debido a que han sufrido un tipo de transformación química. También es posible que el herbicida se encuentre en forma viva dentro del suelo, pero fuera del alcance de las estructuras vegetales que pueden absorberlo, tanto por vía de lixiviación a estratos profundos como por vía de escorrentía (Palavetal 2018).

En esta situación el método de absorción se hace imposible a través de una situación espacial. Esta situación se utiliza como criterio de selectividad, cuando se considera que los herbicidas con capacidad para perjudicar a una determinada especie de cultivo pueden utilizarse en ese cultivo siempre que estén situados fuera del alcance de las raíces y de los diferentes sistemas de absorción. Esta forma de selectividad se conoce como "selectividad posicional" (Palavetal 2018).

Los factores que catalogan la persistencia de un herbicida en el suelo pueden dividirse en tres factores principales: (1) factores que definen la adsorción de los herbicidas a las micelas coloidales del suelo, (2) factores climáticos y (3) características o elementos basados en el manejo del cultivo. Esta serie de cosas influirá en el procedimiento de disipación de los herbicidas dentro del suelo. La disipación incluye todos aquellos enfoques que promueven el descuento de la

atención del herbicida dentro del suelo, junto con la lixiviación, la escorrentía, la volatilización, la foto descomposición y la degradación, que es la transformación química o metabólica de las moléculas en burocracia de un tipo de su forma original. Un herbicida puede, por tanto, salir de un suelo sin degradarse, es decir, sin que se produzcan ajustes en su estructura molecular (Papa y Massaro 2015).

La degradación de los herbicidas en el suelo puede surgir mediante el uso de técnicas químico-físicas o ser mediada por medio de métodos metabólicos. Entre las técnicas de degradación química más importantes de los herbicidas en el suelo están las siguientes, según Papa y Massaro (2015):

- **Hidrólisis:** es la transformación de las moléculas de los herbicidas mediante el impacto de la interacción con el agua. Este procedimiento puede ser preferido a través de la adsorción de los herbicidas a micelas coloidales, considerando que éstas se comportan como un suelo catalítico. Según este mecanismo, los ésteres pueden transformarse en ácidos y alcoholes, los nitrilos en amidas y ácidos carboxílicos, las triazinas en hidroxitriazinas y las ureas en anilinas y amidas.
- **Fotodescomposición:** es la degradación generada por la ruptura de enlaces dentro de la molécula mediante el movimiento de la radiación ultravioleta (UV) del sol. Es importante en los herbicidas que se llevan al suelo y no se incorporan, o dentro del caso de los herbicidas emergentes que se pueden aplicar al follaje de las plantas bajo situaciones de excesiva profundidad de luz.
- **La termodegradación:** que se produce cuando los insecticidas se exponen a temperaturas excesivas en el suelo y pueden degradarse por el efecto de la fuerza que se confiere a las moléculas con la temperatura.
- **Otros métodos químicos:** pueden ser específicos para efectos positivos de herbicidas o, más preferentemente, actuar sobre algunos tipos de herbicidas. Estos abarcan: desalquilación, descarboxilación, escisión de enlaces éster, hidroxilación, metilación, descuento o fisión de anillos. El sistema de degradación biótica de los herbicidas en el suelo está

esencialmente relacionado con los microorganismos del suelo, ya que ésta es la principal vía de disipación de las moléculas orgánicas en el suelo.

#### **1.5.4.1. Estructuras con capacidad para absorber herbicidas del suelo**

Szwark y Barardo (2015) expresan que una vez que un herbicida responde en el suelo, debe entrar en contacto con los órganos de la planta capaces de absorberlos, y después penetrar en las células. Los mismos autores señalan que la técnica de las moléculas del herbicida hasta los órganos que pueden absorberlas puede surgir por varias vías:

- **Difusión:** la difusión es el movimiento de las moléculas del herbicida desde las regiones de atención excesiva a las regiones de atención decreciente, siendo una forma pasiva. Las zonas de menor atención del herbicida son a través de las raíces, considerando que allí el herbicida es removido por medio de las flores durante la absorción de agua y solutos del suelo o en alguna etapa del intercambio de gases con el suelo, en el caso de moléculas riesgosas.
- **Flujo de masa:** cuando existe el arrastre de moléculas de herbicida hacia las raíces por efecto de interacción físico-eléctrica, les permite transportarse juntas. Este proceso se produce a menor escala que la difusión, y sólo ocurre en zonas muy cercanas a la fundación.
- **Crecimiento de las plántulas:** en una etapa en la que las raíces y diferentes estructuras vegetales subterráneas interceptan las moléculas del herbicida debido a su movimiento a través del perfil del suelo. El sistema de deriva de masas es importante para cosechar el contacto entre los sistemas absorbentes y los herbicidas en el caso de los herbicidas no volátiles. La difusión tiene una importancia adicional en el caso de los herbicidas volátiles, especialmente en suelos con bajo contenido de agua. Tras el contacto entre el herbicida y los componentes subterráneos de la planta, tiene lugar el procedimiento de penetración del herbicida en la planta. La mayoría de las raíces no tienen la capacidad de absorber herbicidas del



suelo, sino que hay diferentes estructuras subterráneas que lo consiguen y, en algunos casos, esto es importante para definir la selectividad de los herbicidas.

Taberner (2017) manifiesta que las estructuras vegetales con capacidad de absorción de herbicidas del suelo de acuerdo con el nivel de aumento de las plántulas pueden ser:

- Antes de la emergencia de las plántulas: semillas en germinación, brotes y primeras raíces de las plántulas.
- Después de la emergencia de las plántulas: las raíces (específicamente los pelos absorbentes y las regiones no lignificadas), el coleótilo, el mesocótilo o el hipocótilo. En el caso de plantas con tallos subterráneos, tubérculos, bulbos, rizomas u otras estructuras subterráneas, la absorción dependerá de la conformación de estos sistemas, pero suele ser baja.

Después de que las plántulas se conviertan en plantas adultas, es muy probable que sólo las raíces, a través de los pelos radiculares, puedan absorber activamente y con éxito los herbicidas de la respuesta del suelo. Independientemente de la estructura a través de la cual se toman los herbicidas, esos compuestos deben conquistar una serie de límites anatómicos como una forma de penetrar en el citoplasma celular. Uno de los más importantes de esos obstáculos es la cutícula, la capa cerosa que recubre las células epidérmicas de las plantas, especialmente en sus estructuras aéreas. La cutícula está poco desarrollada o ausente dentro de las estructuras subterráneas absorbentes de herbicidas por las plantas (Ustarroz *et al* 2016).

Los herbicidas aplicados al follaje, la cutícula más desarrollada juega un papel de mayor importancia en la entrada de herbicidas a las células. En la entrada de herbicidas en la planta se producirá la translocación, en el caso de los herbicidas translocables, o se ejercerá el mecanismo de acción en el mismo punto donde entran en contacto con las plantas, para el caso de los herbicidas no translocables o de contacto (Ustarroz *et al* 2016).

#### **1.5.4.2. Factores que afectan la absorción de herbicidas aplicados al suelo**

Todo el proceso de absorción de herbicidas se ve facilitado por las propiedades del suelo, las propiedades fisicoeléctricas de las moléculas de herbicidas y los factores que afectan el movimiento del agua en las plantas (Kogan *et al* 2015).

Es importante enfatizar que los herbicidas se toman de las soluciones del suelo, es decir, de la humedad del suelo, y esta absorción está determinada por el proceso de transpiración de la planta y su estado hídrico, lo que indica que cualquier factor que afecte la transpiración de la planta. Los procesos de crecimiento, el estado de humedad de las plantas y, por supuesto, el contenido de humedad del suelo tiene un efecto directo sobre la absorción de herbicidas y su posterior movilización en el suelo. Las plantas que comienzan a desarrollarse en suelo seco tratado con el herbicida no podrán absorber el compuesto de manera eficiente porque no solo no se desarrollará correctamente, sino que habrá poca solución de suelo para absorber el herbicida (Kogan *et al* 2015).

El clima es un factor que tiene una gran influencia en el proceso de evaporación de la planta y por lo tanto en la absorción de herbicidas por parte de la planta. Un clima soleado con humedad moderada, temperatura óptima para el desarrollo de las plantas (unos 25 a 30°C) y vientos suaves junto con un suelo suficientemente húmedo es la combinación que mejor favorece la transpiración en la mayoría de las regiones. plantas vasculares, por lo que promoverán una rápida absorción y movilización de herbicidas (Kogan *et al* 2015).

Otro factor importante que afecta la absorción de herbicidas del suelo por parte de una planta es la edad de la planta. Las monocotiledóneas tienen diferentes patrones de absorción según la edad de la planta, principalmente debido al desarrollo de las partes subterráneas de la planta, que absorben los herbicidas de formas muy diferentes. Una situación similar se observa en las dicotiledóneas (Hance y Holly 2015).

Es posible que el desarrollo temprano de la epidermis de la raíz y la ausencia de bandas de Caspary en raíces y brotes sean responsables de la absorción más eficiente de herbicidas en las primeras etapas de desarrollo en la mayoría de las plantas. Por lo tanto, la mayoría de los tratamientos de labranza solo son efectivos cuando las plantas a controlar están en proceso de germinación o aún están poco desarrolladas (Hance y Holly 2015).

En cuanto a la absorción de herbicidas gaseosos, se ha comentado que los principales factores que influyen en su absorción son la humedad y la temperatura del suelo, ya que estos factores afectan directamente la evaporación y el intercambio gaseoso del herbicida. Relación entre la estructura vegetal del sotobosque y el suelo (Hance y Holly 2015).

### **1.5.5. Mecanismos de movimiento de los herbicidas residuales**

La mayoría de los herbicidas residuales tienen un efecto sobre la fotosíntesis o la división celular y crecimiento, pero unos pocos herbicidas parecen afectar a un par de factores. Así, el nitrilo de bromoxinilo inhibe la fotosíntesis y desacopla la fosforilación oxidativa. Los herbicidas de la misma organización química suelen tener el mismo movimiento, pero esto no es siempre continuamente el caso (Headford y Douglas 2016).

#### **1.5.5.1. Herbicidas que interfieren con la fotosíntesis**

##### **1.5.5.1.1. Herbicidas del fotosistema 1 (FS1)**

Se trata de los compuestos de bipiridilo, diquat y paraquat, que desvían la deriva de electrones en la parada terminal del fotosistema 1. Estos radicales fitotóxicos se unen rápidamente a los lípidos de la membrana y a los aminoácidos de las proteínas y los ácidos nucleicos enzimáticos, generando una rápida fuga de la membrana y la destrucción del tejido de la hoja, dando lugar a un aspecto húmedo de agua, que es seguido por medio de la necrosis y la desecación (Headford y Douglas 2016).

### **1.5.5.1.2. Inhibidores del fotosistema 2**

Estos bloquean el transporte de electrones mediante la interacción con un polipéptido dentro de la membrana del cloroplasto. La especificidad de este sitio web en línea de acción requiere el elemento estructural  $-\text{CO}-\text{N}<$  o  $-\text{N} = \text{C}-\text{N}<$  para la acción inhibitoria y éstos se encuentran en la mayoría de los herbicidas de este grupo. Si la energía de excitación no se utiliza porque el flujo de electrones se detiene, podría excitar el oxígeno a un "reino singlete" ( $^1\text{O}_2$ ). Esta forma notablemente adversa de oxígeno puede interactuar con los lípidos, las proteínas, los ácidos nucleicos y otras moléculas móviles para la desorganización móvil y, por tanto, la muerte de la planta. Esto se pondera en el advenimiento de signos fitotóxicos, que incluyen clorosis y necrosis (Headford y Douglas 2016).

### **1.5.5.1.3. Desviadores del fotosistema 1: Bipiridilos**

El dicuat y el paraquat son herbicidas táctiles, no selectivos y de acción rápida, con una movilidad limitada en el apoplasto. Son mucho menos celulares cuando se aplican bajo una intensa radiación solar y en el interior de los trópicos se manipulan durante más tiempo las plantas perennes mediante su aplicación al anochecer. Dosis muy bajas de bromacil o diuron, que bloquean el deslizamiento de electrones en el fotosistema (FS) 2, le ahorran el movimiento rápido de los bipiridilos bajo radiación solar extrema, lo que sinergiza el pasaje de dicuat y paraquat. Ambos herbicidas penetran muy rápidamente en el follaje y son resistentes a la lluvia dentro de los 10 minutos posteriores al programa en situaciones máximas (Headford 2014).

El dicuat y el paraquat se utilizan en estructuras de labranza mínima para el manejo de las malas hierbas antes o después de la siembra, pero normalmente antes del 10% de la emergencia del cultivo. Se aplican como pulverizaciones dirigidas o cubiertas de pantalla en muchas vegetaciones perennes templadas y tropicales. Ambos se utilizan como desecantes para facilitar la cosecha y el dicuat puede utilizarse en situaciones positivas de malas hierbas acuáticas. El paraquat

tiende a ser más enérgico frente a las hierbas y el diquat frente a las especies de hoja ancha (Headford 2014).

El paraquat tiene una alta toxicidad para los mamíferos (la DL50 oral para las ratas es de ciento veinte mg de iones de paraquat/kg de peso corporal) y su uso se ha prohibido en varios países. Para reducir el peligro de ingestión involuntaria, se suele formular con un agente emético y un colorante brillante. La atención debe guardarse y tratarse con sumo cuidado y la respuesta diluida debe aplicarse correctamente, siguiendo siempre las instrucciones de la etiqueta y llevando ropa protectora. La toxicidad del diquat para los mamíferos es menor (la DL50 oral para las ratas es de 230 mg de ión diquat/kg de peso del cuadro) y cuando se diluye para manipular las malas hierbas acuáticas tiene una toxicidad menor para cada pez y mamífero (Headford 2014).

#### **1.5.5.1.4. Inhibidores del fotosistema 2: Triazinas**

Las triazinas tienen una solubilidad en agua bastante baja y se formulan como polvos mojables, concentrados suspendibles y gránulos. Su volatilidad y fotodescomposición son bajas, y son estables en las superficies de las plantas y del suelo. Suelen llegar al suelo, en el que se absorben a través de las raíces y, en menor cantidad, a través de las partes subterráneas de la planta, donde circulan con la corriente transpirativa del apoplasto. Suelen requerir la lluvia o el riego para su movilidad dentro del suelo y son más potentes mientras se aplican en suelos húmedos en comparación con los secos. Cuando se llevan a cabo con adyuvantes, las triazinas pueden absorberse al máximo por vía foliar. Estos herbicidas son activos contra un amplio espectro de malas hierbas de hoja ancha y gramíneas. La movilidad hacia abajo dentro del suelo depende de las propiedades químicas del herbicida, incluyendo la solubilidad en agua, la capacidad de ser adsorbido a través de los coloides del suelo, y las capas del suelo que consisten en el recuerdo natural, la arcilla y el material de contenido de agua. Con la excepción de la cianacina, la toxicidad para los mamíferos es baja (Caseley 2015).

En los suelos con un alto contenido natural de coloides, este herbicida debe utilizarse simplemente en la fase de emergencia. Su efecto normalmente permite controlar las malas hierbas en alguna fase del ciclo del cultivo. La atrazina es el inhibidor del fotosistema 2 más utilizado. Su uso se extiende a más de 7 millones de hectáreas de maíz al año. El sorgo, la caña de azúcar y la piña son otras plantas que se benefician de este herbicida. Se suele aplicar en la fase de IPP, en la preemergencia y en la postemergencia temprana (seguida de un adyuvante aceitoso) y controla muchas especies de hierbas anuales y de hoja ancha, pero su impacto es malo en *Digitaria* spp. y *Panicum dichotomiflorum* Michx. (Caseley 2015).

La cianacina se une menos fuertemente a los coloides del suelo que la atrazina y la tolerancia del maíz está restringida en suelos degradados con bajo contenido de dependencia orgánica. Es más enérgica hacia las hierbas difíciles que la atrazina, sin embargo, es más débil hacia *Amaranthus* spp. y *Abutilon theophrasti* Medic. Se aplica como IBP, en pre y postemergencia temprana en maíz y, en menor cantidad, en canola y trigo. En maíz, su breve vida en el suelo, de 7 a 10 semanas, lo convierte en un excelente deseo de actualizar la atrazina y la simazina, en particular mientras se acompañe del uso de plantas sensibles a estos herbicidas dentro de la rotación (Caseley 2015).

El metribuzin es una triazina desigual tiene una excesiva solubilidad en el agua (1200 ppm), es sorprendentemente célula en el suelo, en el que persiste todo el ciclo de desarrollo de los cultivos anuales máximo. Metribuzin se utiliza en IPP y en preemergencia para eliminar las malas hierbas de hoja ancha y las gramíneas en la soja, la patata, el tomate, la alfalfa y la caña de azúcar. También se utiliza en preemergencia en patata y tomate (Arregui y Puricelly 2018).

La prometidrina se adhiere fuertemente a los coloides del suelo, con una movilidad y resistencia muy limitadas dentro del suelo: de 1 a 3 meses. Se utiliza en IPP y en preemergencia para el control de las malas hierbas de hoja ancha en el algodón (Arregui y Puricelly 2018).

La propazina presenta un rendimiento general en el suelo es como la prometrina, además de que persiste durante 12-18 meses. Se utiliza en IPP y en preemergencia para la manipulación de malas hierbas y de hoja ancha en el sorgo (Arregui y Puricelly 2018).

La simazina se une fuertemente a los coloides del suelo, con una movilidad restringida en el suelo, y sus costes se ajustan en función del recuerdo orgánico del suelo y del contenido de arcilla. La simazina ejerce un control de las arvences a lo largo del ciclo del cultivo y los residuos en el suelo pueden dañar los posteriores cultivos susceptibles dentro de la rotación. Este herbicida se absorbe por vía radicular, y su aplicación se da en preemergencia o en emergencia de las malezas en combinación con un herbicida de contacto junto con el paraquat. La simazina controla las malezas anuales de hoja ancha, que incluyen algunas especies tolerantes a la atrazina. La simazina se utiliza en IPP y en preemergencia en el maíz y en los cultivos perennes establecidos, como la alfalfa, la caña de azúcar y las especies leñosas. Se utiliza en cargas excesivas para el manejo general de las malas hierbas en las regiones que no son de cultivo (Arregui y Puricelly 2018).

La contaminación del suelo y de las aguas subterráneas con atrazina y, en menor medida, con simazina, ha provocado la prohibición o la limitación de su uso en algunos países, específicamente para el control general de las malas hierbas en regiones no agrícolas, en las que normalmente se aplican en dosis superiores a nueve kg de I.A./ha. La utilización continua de triazinas, especialmente en maíz y sorgo, ha generado el desarrollo de biotipos resistentes de 40 especies de malezas de hoja ancha con puntos de movimiento del fotosistema 2 modificados, además de 17 especies de gramíneas, en las que la resistencia se debe específicamente al elevado metabolismo del herbicida (Arregui y Puricelly 2018).

#### **1.5.5.1.5. Inhibidores del fotosistema 2: Uracilos sustituidos y uracilos.**

La mayoría de las ureas sustituidas tienen muchos rasgos que no son inusuales con las triazinas, pero su poder de permanencia en el suelo a dosis

selectivas de cultivo tiende a ser menor (de tres a seis meses). Su solubilidad en el agua y su adsorción a los coloides del suelo se inspiran en la gran variedad de átomos de cloro de la molécula. El fenurón no tiene cloro en ningún aspecto, por lo que es miles de veces soluble en agua y sin dificultad lixiviada en el suelo, mientras que el diurón, con dos átomos de cloro, se une fuertemente a los coloides y puede ser utilizado en las plantas con raíces profundas y no puede metabolizar el herbicida. El espectro de selectividad basado principalmente en el metabolismo es amplio, junto con el clorotolurón y el isoproturón en el trigo y la cebada; el diurón y el fluometurón en el algodón y el linurón en la patata. La actividad foliar se incrementa mediante el uso de tensioactivos. La mayoría de las ureas no son selectivas a dosis elevadas y pueden utilizarse para la gestión de la flora popular, en la que la persistencia ha de ser de hasta 2 años (Collavo 2014).

Los uracilos tienen propiedades comparables a las de las ureas sustituidas, pero tienden a lixiviarse más fácilmente y son mucho menos selectivos. Se utilizan normalmente en vegetación perenne, como los cítricos, y para el control general de las malas hierbas, especialmente de las especies perennes de raíces profundas (Collavo 2014).

El diurón se une fuertemente a los coloides del suelo y resiste la lixiviación, por lo que puede utilizarse en vegetación de raíces profundas, como la caña de azúcar, la piña y los cítricos. Este herbicida controla las malas hierbas de hoja ancha y las gramíneas, y se aplica en pre-siembra o pre-emergencia en el algodón. Se utiliza ampliamente, a altas cuotas, para el manejo total de las malas hierbas (Geisel *et al* 2018).

El isoproturón tiene una movilidad restringida en el suelo y se utiliza para la manipulación en pre y postemergencia temprana de las malas hierbas de hoja ancha y gramíneas en el trigo, la cebada y el centeno. Su selectividad está limitada en algunas variedades (Geisel *et al* 2018).

El linurón se une fuertemente al número de cuentas orgánicas, pero menos a las arcillas, y su tasa de uso se ajusta en función del contenido natural de



cuentas del suelo. Para obtener su afectación en el suelo es imprescindible una lluvia intensa. El linurón se utiliza en preemergencia en maíz, sorgo, zanahoria, nabo, acelga, patata y soja. Tiene una actividad foliar adicional a la del diurón y su pasaje en preemergencia es mejor con el uso de tensioactivos. Sin embargo, debe aplicarse de forma centrada para conservar la selectividad en maíz, sorgo, algodón y soja. La zanahoria y la acelga toleran aplicaciones en toda la región de linurón, pero sin la adición de adyuvantes (Grossmann 2017).

El linurón se utiliza con tensioactivos o en mezcla con glifosato o paraquat sobre las malas hierbas emergidas antes de la siembra de soja en los semilleros organizados mediante labranza mínima o convencional (Grossmann 2017).

El fluometurón es muy parecido al linurón, pero sólo persiste en el suelo durante unos dos meses. Se utiliza en preemergencia y en emergencia en el algodón y la caña de azúcar (Grossmann 2017).

El terbacil, un herbicida de uracilo, tiene una solubilidad en agua de 710 ppm y es notablemente celular en el suelo, en el que persiste hasta 365 días después de la aplicación a altos costes. Se utiliza para gobernar hierbas anuales y perennes en cítricos y otra vegetación arbórea, en la que la selectividad dependerá de la profundidad de las raíces del cultivo. A dosis bajas, controla selectivamente las malas hierbas anuales en alfalfa y es notablemente selectivo en menta y hierbabuena. La manipulación postemergente de las malas hierbas se adelanta con el uso de tensioactivos (Papa 2017).

Se ha producido una contaminación de las aguas subterráneas cuando se utiliza de forma intensiva y repetida (por ejemplo, el isoproturón en el norte de Europa). Se ha informado de la resistencia a las ureas sustituidas de 1 hierba y cinco especies de hoja ancha, además de al bromacil de dos especies de hoja ancha (Papa 2017).

#### **1.5.5.1.6. Inhibidores de la biosíntesis de lípidos: Tiolcarbamatos**

Estos herbicidas transportados por el suelo tienen un alto estrés de vapor y deben integrarse en el suelo inmediatamente después de su utilización para evitar la pérdida de vapor. Se controlan las hierbas anuales y algunas malezas de hoja ancha, mientras que se inhiben algunas hierbas perennes. Los meristemas de los tallos se inhiben y las hojas emergentes de las plántulas de gramíneas se enrollan, emergen vulnerables y adquieren un color verde oscuro, lo que indica la ausencia de cera epicuticular. Las especies de hoja ancha susceptibles también emergen, pero ya no se ensanchan más allá del grado de plántula. El EPTC, el butilato y el vernolato tienen un escaso margen de selectividad en el maíz por los elevados costes necesarios para matar las hierbas perennes. Por ello, se recomienda utilizar formulaciones con un protector incorporado. Estos herbicidas se metabolizan de forma inesperada en las plantas y el suelo, con una persistencia de entre uno y tres meses (Subramanian *et al* 2018).

El EPTC está disponible como emulsionable y como granulado. Es uno de los herbicidas más arriesgados (presión de vapor de 4,5 Pa), por lo que debe incorporarse al suelo. Se aplica en suelo seco para su incorporación mecánica instantánea. Como alternativa, dado que su solubilidad en agua es de 370 ppm, se puede utilizar el riego por aspersión para introducir el producto químico en el suelo. Su duración en el suelo es de 6 semanas. Se utiliza en la PPI en una amplia organización de la vegetación, junto con el maíz, las leguminosas de semilla pequeña, las judías, el lino, la patata, el cártamo y el girasol. Se realiza en postemergencia para alisar el suelo en cultivos de judías, patatas y cítricos. Las formulaciones que contienen el protector, dichlormid, pueden utilizarse a tasas más altas en el maíz para el control de las hierbas perennes y las juncias, que se manejan de primera clase mientras se fragmentan los rizomas y los tubérculos mediante el laboreo para estimular la emergencia de los brotes (Subramanian *et al* 2018).

Butilato es un tiolcarbamato que se utiliza en el maíz y su acción es similar a la del EPTC, además de que lixivia mucho menos en el suelo (Subramanian *et al* 2018).

El pebulado lixivia mucho menos que el EPTC y se utiliza en pre-siembra en el tabaco, y en PPI y post-siembra, incluido, en el tomate (Subramanian *et al* 2018).

El trialato tiene una baja solubilidad en el agua, una lixiviación confinada en el suelo y persiste hasta seis semanas. Se utiliza en la PPI para el control de la avena silvestre, muchas hierbas anuales y algunas malas hierbas de hoja ancha en el trigo, la cebada, los guisantes, las judías y las lentejas. Además de la formulación concentrada emulsionable para la incorporación al suelo, existen gránulos que no requieren incorporación (Metzler y Ahumad 2016).

El vernolato persiste en el suelo durante unas semanas y se utiliza en la PPI en maíz, soja y cacahuetes (Metzler y Ahumad 2016).

Los microorganismos del suelo que descomponen los tiolcarbamatos se multiplican en el suelo tratado, por lo que los remedios sucesivos pueden tener además una semivida más corta, lo que reduce su eficacia en la manipulación de las malas hierbas. Algunas formulaciones de esos herbicidas comprenden un inhibidor microbiano para extender el poder de permanencia dentro del suelo. Este problema puede resolverse mediante el uso de otros herbicidas con una composición química específica durante dos o más años (Metzler y Ahumad 2016).

#### **1.5.5.1.7. Inhibidores de la división celular: Cloroacetamidas.**

Estos herbicidas transmitidos por el suelo limitan el crecimiento de pastos anuales y algunas malezas de hoja ancha en cultivos grandes. En las plántulas en

germinación, son fácilmente absorbidos por las raíces y los componentes de la superficie, pero su movilidad dentro de la planta es limitada. Los pasajes meristales terminan en las raíces y las puntas de los tallos, mientras que, en las plantas herbáceas, se inhibe la emergencia de las hojas (Sánchez 2016).

El alaclor es altamente no volátil, fácilmente soluble en agua y tiene poca o ninguna afinidad por los coloides del suelo. En condiciones secas, la incorporación al suelo es necesaria para controlar el cibrés. El alaclor se metaboliza inesperadamente en las plantas y persiste en el suelo de 6 a 15 semanas. Además de frijol, algodón y papa, se utiliza para el PPI de maíz, soya y maní y para la preemergencia de estas plantas (Sánchez 2016).

El butacloro tiene una baja solubilidad en agua y una fuerte capacidad de unión con los coloides del suelo, por lo que debe incorporarse en condiciones secas. Permanece en el suelo de 5 a 12 semanas antes de que aparezcan malezas en PPI y arroz directo o trasplantado (Sánchez 2016).

CDAAs es un compuesto muy peligroso y hoy en día generalmente no necesita ser incorporado al suelo porque tiene una solubilidad en agua de 2000 ppm y se introduce fácilmente en el suelo por el agua de lluvia. No se une fuertemente a los coloides del suelo y se desempeña bien en suelos con un alto número natural y contenido de arcilla, incluso en condiciones secas. Dura de cuatro a nueve semanas en el suelo. Los cultivos que son muy comunes en la preemergencia incluyen: maíz, sorgo, soja, camote, caña de azúcar, frijoles, guisantes, repollo, tomates y cebollas. Es extremadamente irritante para la piel y los ojos (Scilipoti 2020).

El metolacloro tiene un uso comparable al del alacloro, pero es más celular en el suelo y puede utilizarse en el sorgo de grano con un protector (Scilipoti 2020).

El propacloro es potente en suelos con un contenido excesivo de dependencias naturales y en condiciones de sequedad. Se utiliza en

preemergencia en el maíz, el sorgo de grano, la soja, la col y las cebollas (Scilipoti 2020).

#### **1.5.5.1.8. Inhibidores de la división celular: Dinitroanilinas**

Estos herbicidas de aplicación en el suelo controlan las plántulas de hierba y unas pocas especies de hoja ancha en un amplio grupo de plantas. Todos tienen una baja solubilidad en agua y se adsorben a los coloides del suelo. Varían en volatilidad y susceptibilidad a la fotodegradación, desde la trifluralina, que requiere la incorporación al suelo, hasta la orizalina, que puede seguir en la superficie del suelo sin una pérdida considerable de eficacia (Anzalone y Silva 2016).

Las dinitroanilinas que no se integran automáticamente requieren precipitaciones para su lixiviación en la zona de germinación de las semillas del suelo. Ninguno de estos herbicidas tiene interés foliar, pero pueden ser absorbidos de forma sencilla mediante las raíces de las plántulas en germinación e inhiben el auge de las raíces al tiempo que interfieren en la mitosis. Las plántulas tratadas presentan un abultamiento de la punta de la base y el desarrollo de las raíces laterales también se ve inhibido. Al principio las plantas tienen tendencia a desarrollarse, pero la pérdida del desarrollo de las raíces acaba con la pérdida de la vida. La selectividad se lleva a cabo con la ayuda de la posición del herbicida en el suelo, que incluye una incorporación poco profunda por encima de un cultivo sembrado en profundidad, así como con la ayuda del metabolismo del herbicida en la planta. Las dinitroanilinas ofrecen un control prolongado (Anzalone y Silva 2016).

Para evitar la degradación por volatilización y la radiación UV, la trifluralina se incorpora normalmente de forma robótica en el suelo, pero en lugares internacionales fríos, donde la neblina y las lluvias comunes tienen éxito, la utilidad del suelo es agradable, por lo que se utiliza mucho de esta manera en los cereales en el norte de Europa. En un amplio grupo de cultivos, como las judías, la soja, el algodón, las zanahorias, las coles, los guisantes, el cártamo y el girasol, se lleva a

cabo en la PPI. En el algodón, la patata y la caña de azúcar se utiliza después de la siembra en preemergencia incorporada (Cadena *et al* 2022).

La trifluralina también se utiliza en la presentación dirigida de los cultivos y la pre-emergencia integrada de las malas hierbas, en el maíz, el algodón, las cucurbitáceas, el tomate, la caña de azúcar y la madera de la fruta. De vez en cuando se utilizan dosis dobles en el algodón y la soja para controlar el *Sorghum halepense*. Los residuos en el suelo, especialmente después de utilizar cargas elevadas, pueden perjudicar a los siguientes cultivos de la rotación. La trifluralina es tóxica para los peces cuando se aplica directamente al agua, pero la incorporación al suelo no supone ningún peligro si se utiliza de acuerdo con las indicaciones de la etiqueta (Principiano y Acciaresi 2017).

El Benefin se utiliza antes o después de la plantación, integrado en la lechuga, el cacahuete, las legumbres de grano pequeño y el tabaco trasplantado (Mayer y Hamman 2016).

Oryzalin es más lixiviable que la trifluralina y se utiliza en preemergencia en la soja y el algodón; en preemergencia dirigida en arbustos frutales (Riddle *et al* 2017).

La pendimetalina no siempre es fácilmente lixiviable y sus usos abarcan el programa PPI en el algodón y la soja; en preemergencia en el maíz, especialmente para manipular la *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.), el trigo, la cebada y el girasol (Vencill 2020).

## **1.6. Hipótesis**

**Ho=** No es de vital importancia conocer sobre la importancia de los herbicidas residuales y sus mecanismos de acción en malezas.

**Ha=** Es de vital importancia conocer sobre la importancia de los herbicidas residuales y sus mecanismos de acción en malezas.

### **1.7. Metodología de la investigación**

Para el desarrollo del presente documento se recolectó información bibliográfica de libros, revistas, tesis de grado, periódicos, artículos científicos, páginas web, ponencia, congresos y manuales técnicos.

La información obtenida fue efectuada mediante la técnica de análisis, síntesis y resumen, con la finalidad de que el lector conozca sobre la importancia de los herbicidas residuales y sus mecanismos de acción en malezas

## **CAPITULO II**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. Desarrollo del caso**

La finalidad de este documento fue recolectar información referente a la importancia de los herbicidas residuales y sus mecanismos de acción en malezas

Los herbicidas residuales son moléculas químicas que al ser aplicados al suelo persisten varios meses de forma activa. La acción de estos herbicidas debe ser ejecutada para controlar especies de malezas que provienen de semillas de hoja ancha, como es el caso de las gramíneas.

#### **2.2. Situaciones detectadas**

Los herbicidas residuales fueron formulados para controlar malezas en sus primeros estados de desarrollo, es decir al momento de que la epidermis de la plántula se encuentra en emergencia.

Los herbicidas residuales estando en contacto con el suelo, siguen siendo activos durante meses, debido a su movimiento, estos herbicidas deben utilizarse para manipular las especies que provienen de semillas, tanto de hoja ancha (latifoliadas) como de gramíneas. Los herbicidas residuales están diseñados para controlar las malas hierbas de sus primeros grados de mejora, es decir, mientras la epidermis de la futura planta está en su mínima expresión.

La mayoría de los herbicidas residuales tienen un efecto sobre la fotosíntesis o la división celular y crecimiento, pero unos pocos herbicidas parecen afectar a un par de factores. Así, el nitrilo de bromoxinilo inhibe la fotosíntesis y



desacopla la fosforilación oxidativa. Los herbicidas de la misma organización química suelen tener el mismo movimiento, pero esto no es siempre continuamente el caso.

### **2.3. Soluciones planteadas**

Es necesario concientizar a los productores sobre el beneficio de la aplicación de los herbicidas residuales en el control de malezas en los sistemas de producción agrícolas.

Los herbicidas residuales provocan daños a las plantas monocotiledóneas, y deben ser aplicados al suelo antes de la emergencia de las especies de malezas existentes, dándole una denominación como herbicidas pre-emergentes.

### **2.4. Conclusiones**

Por lo anteriormente detallado se concluye:

Existen tres elementos que influyen en la eficacia de los herbicidas residuales aplicados al suelo: la humedad del suelo, la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, las características del componente activo y la dosis del herbicida utilizado.

Los factores que catalogan la persistencia de los herbicidas residuales en el suelo pueden definirse en tres factores principales: (1) factores que definen la adsorción de los herbicidas a las micelas coloidales del suelo, (2) factores climáticos y (3) características o elementos basados en el manejo del cultivo.

Todos los procesos de absorción de herbicidas residuales están mediados por las características del suelo, las propiedades físico-eléctricas de las moléculas herbicidas y los factores que afecten el movimiento del agua dentro de las plantas.

Las moléculas de herbicidas residuales más utilizados son Simazina 50%, Oxifluorfen, Diuron 50%, Pendimetalin, Trifluralina, Oryzalin, Flumioexazin Dichlobenil, Indaziflam y Terbutilazina 50%.

Los herbicidas residuales tienen un mecanismo de acción sobre el proceso fotosintético y crecimiento.

## **2.5. Recomendaciones**

Por lo anteriormente detallado se recomienda:

Concientizar a los productores agrícola el uso de herbicidas residuales en el manejo de malezas de hoja angosta.

Aplicar los herbicidas residuales en dosis adecuadas, considerando varios factores climáticos, tipo de suelo y manejo del cultivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anzalone, A. 2016. Herbicidas Modos y mecanismos de acción en plantas (en línea). Consultado 25 may. 2022. Disponible en [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/47809/mod\\_resource/content/1/Herbicidas%20Modos%20y%20Mec%20accion%20Anzalone.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/47809/mod_resource/content/1/Herbicidas%20Modos%20y%20Mec%20accion%20Anzalone.pdf)
- Arregui, M., Puricelli, E. 2018. Mecanismos de Acción de Plaguicidas. Dow Agrosiences. 208 p.
- Anzalone, A., Silva, A. 2016. Evaluación de herbicidas sulfonilureas para el control de malezas en cafetales. Bioagro 22(2): 1-12.
- Cadena, D., Alcivar, T., Vazconez, G., Villamarin, J. 2022. Study of the residuality of pre-emergent herbicides in rice cultivation in the Babahoyo area. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research 5(2): 1931-1946.
- Collavo, A. 2014. Resistance to graminicides in monocotyledons weeds. Case studies of Lolium spp. and Phalaris paradoxa in Italy. Thesis PhD. Italia. University of Padova. 176 p.
- Caseley, J. 2015. Herbicidas. FAO. 41 p.
- Brookes, G., Barfoot, P. 2016. Environmental impact of genetically modified (GM) crop use. 1996-2014. Impact on pesticide use and carbon emissions. GM crop & food 7(3): 84-116.
- Diez, M. 2016. Manejo de malezas problema, Modos de acción herbicida. REM, Argentina. 52 p.

- Esqueda, V., Rosas, X., Becera, E. 2015. Evaluación de herbicidas residuales para el control de malezas en guanábana (*Annona muricata* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16(1): 1-8.
- Espinoza, G., Hernández, C., Morales, J. 2017. Manual de Malezas y Catálogo de Herbicidas Para el Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala. CENGICAÑA. 117 p.
- Fischer, A. 2015. La resistencia a herbicidas es una complejidad. Viabilidad de sistemas productivos sustentables. INIA. Uruguay. 25 p.
- Grossmann, K. 2017. Mode of action of auxin herbicides: a new ending to a long, drawn out story. Trends Plant Sci 5(2): 506–508.
- Geisel, B., Schoenau, K., Holm, F., Johnson, A. 2018. Interactions of ALS-inhibiting herbicide residues in three prairie soils. Weed Science 56(2):624-627.
- Hance, R., Holly, K. 2015. Weed control handbook: principles. Blackwell Scientific Publications, Oxford, R.U. 582 pp.
- Headford, D., Douglas, G. 2016. Tuber necrosis following the desiccation of potato foliage with diquat. Weed Research 7(3): 131-144.
- Headford, D. 2014. Influence of light on paraquat activity in the tropics. Pesticide Science 1(2): 41-42.
- Kogan, M., Lazen, S., Fernández, C. 2015. Principios de control químico de malezas en huertos frutales. Universidad de Chile, Chile. 71 p.}
- Moyer, J., Hamman, W. 2016. Factors affecting the toxicity of MON 37500 residues to following crops. Weed Technology 15(5):42–47.
- Metzler, M., Ahumad, M. 2016. Evaluación de herbicidas residuales preemergentes para el control de *Echinochloa crus-galli* en Entre Ríos. Revista INTA 5(3): 1-15.

- Papa, J. 2017. El modo de acción de los herbicidas. Elementos fundamentales para el buen uso de fitoterápicos: Dosis, modo de acción y prevención de deriva. Tucumán. Paul, MN. 338 p.
- Palau, H., Senesi, S., Moggi, L., Ordoñez, I. 2018. Cuantificación de las pérdidas y costos de control por presencia de malezas resistentes en Argentina. FAUBAADAMA. 67 p.
- Principiano, M., Acciaresi. 2017. Interacción de residuos edáficos de herbicidas residuales ALS mediante la realización de bioensayos. *Malezas* 10(37): 1-6.
- Papa J., Massaro, R. 2015. Herbicida metsulfuron metil en barbechos químicos. Información técnica de trigo campaña 2015. INTA. n°103. 28 p.
- Riddle, R., Sullivan, O., Swanton, S., Van Acker, R. 2017. Field and Greenhouse Bioassays to Determine Mesotrione Residues in Soil. *Weed Technology*. 27:565–572.
- Santangelo, M. 2014. Evaluación de diferentes estrategias de uso de herbicidas para contribuir al manejo sustentable de malezas. Tesis MSc. Argentina. UBA. 31 p.
- Szwark, D., Berardo, C. 2015. Alternativas para el control químico de malezas en barbecho de soja. INTA EE Reconquista. Syngenta Agro SA. Voces y Ecos n°34. 50 p.
- Sánchez, R. 2016. Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. INIFAP. 39 p.
- Scilipoti, A. 2020. Evaluación de diferentes herbicidas residuales preemergentes en cultivo de trigo, para el control de *Brassica rapa* L., con resistencia múltiple. Tesis Ing. Agr. Argentina. UBA. 39 p.
- Subramanian, M., Brunn, S., Bhavesh, C., Reagan, J. 2018. Revisiting Auxin Transport Inhibition as a Mode of Action for Herbicides. *Weed Sci* 45(5): 621-627.

- Taberner A. 2017. Alternativas no químicas para el manejo integrado de malezas resistentes. En: Ríos A. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. 2013- INIA. Serie Técnica n°204. 35 p.
- Ustarroz, D., Bedmar F., Papa J., Satorre, E. 2016. Herramientas para el control de malezas. Bases y herramientas para el control de malezas. Editorial: Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. pp 234- 237.
- Vencill, W. 2020. Herbicide Handbook, 8th ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America. 493 pp
- Zelaya, I. 2017. Capacitación en Herbicidas, Generalidades sobre Malezas. Investigación Agrícola 12(5): 1-18.