

## Tema 11. COMPORTAMIENTO DE LOS HERBICIDAS EN LA PLANTA.

### Introducción

Los herbicidas destruyen las malezas interfiriendo los procesos bioquímicos, como la fotosíntesis, que tiene lugar en el simplasto o sistema vivo de la planta. Para que la acción del herbicida tenga lugar deberá haber suficiente cantidad de ingrediente activo del compuesto para que éste entre en la maleza y sea transportado hacia el lugar de acción adecuado.

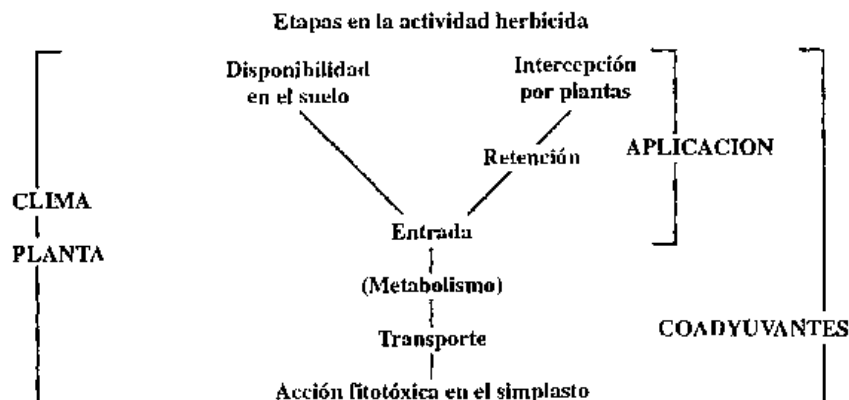
### Interceptación y absorción del herbicida por las hojas.

#### Interceptación del herbicida.

Para que un herbicida de aplicación foliar, llegue a ser activo tiene que ser interceptado y retenido por las hojas o tallos. A mayor cantidad de herbicida interceptado mayor fitotoxicidad se producirá. La diferencia entre la interceptación del herbicida por parte de la mala hierba y del cultivo puede explicar la selectividad del tratamiento, en algunos casos la interceptación es la misma para uno y otro.

Algunos herbicidas, como glifosato (un compuesto sistémico con movilidad a través del floema) y paraquat (un herbicida de contacto), entran en la planta exclusivamente a través de las partes aéreas. Sin embargo, muchos herbicidas que se aplican después de la emergencia de las malezas tienen, tanto actividad foliar como a través del suelo.

Chlorsulfuron entra a la planta principalmente a través de la parte aérea, pero también a través de las raíces y su actividad en el suelo controla a las malezas que germinan después de la aplicación. El éxito de estos tratamientos foliares post-emergentes está en dependencia que suficientes gotas del asperjado sean interceptadas y retenidas sobre el follaje. El hábito de crecimiento plano de muchas plantas de hoja ancha ofrece una buena proyección para las gotas de la aspersion, mientras que el de las hojas erectas y estrechas de las gramíneas suele ser peor. El ángulo de las hojas también afecta la retención del asperjado. Por lo general hay mayores pérdidas en un follaje más erecto, especialmente cuando se asperjan gotas grandes.



Factores que afectan las etapas de la actividad de los herbicidas.

En la medida en que las plantas crecen, su área foliar aumenta. Las gramíneas, en especial, se convierten en mejores objetos para las gotas de aspersión en la medida que la orientación de sus hojas se aplanan y se desarrollan tallos adventicios. Por esta razón muchos gramínicidas post-emergentes se aplican a partir del estadio de desarrollo de dos hojas en lo sucesivo. Sin embargo, la demora de la aspersión con el objeto de optimizar la retención no debe ser la única consideración, ya que las plantas más adultas pueden necesitar una dosis mayor de herbicida para un control efectivo y la eliminación tardía de la maleza puede traer como consecuencia una competencia severa con el cultivo.

La naturaleza de la superficie foliar es otro factor importante que determina la retención del herbicida. La forma y disposición de las partículas de cera sobre las hojas de muchas gramíneas (p.ej. Avena spp.) produce una superficie áspera que repele el agua, por lo que las gotas grandes del asperjado tienden a rebotar o escurrir fuera de las hojas.

Las condiciones climáticas, bajo las que ha crecido la planta antes de la aspersión, afectan la interceptación y retención del asperjado. Las plantas que han estado sometidas a condiciones adversas de sequía o a condiciones frías, tienen hojas más pequeñas, usualmente cubiertas con cantidades considerables de cera epicuticular, que interceptan y retienen menos herbicida que las plantas que crecen bajo condiciones cálidas y húmedas. El efecto de la precipitación depende de su momento e intensidad. Una cubierta de rocío al momento de la aspersión puede aumentar la interceptación foliar mediante la alteración del ángulo de la hoja. Lluvias intensas poco tiempo después de la aplicación pueden lavar el herbicida de la hoja. Los compuestos solubles en agua, como glifosato, son menos

"resistentes al lavado por lluvias inmediatamente después de la aplicación" que los herbicidas lipofílicos, como diclofop-metil, que se formulan como emulsiones.

### Factores que influyen en la interceptación del herbicida

- ◆ Capacidad de cobertura de una especie.

Si el cultivo cubre por completo las malas hierbas estas se verán poco o nada afectadas por el tratamiento herbicida

- ◆ Angulo foliar.

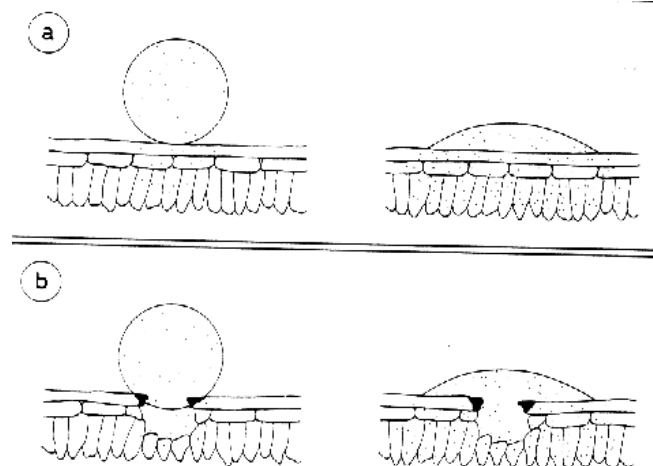
La inclinación de las hojas, influye tanto en la interceptación como en la retención del herbicida aplicado. Las especies vegetales como hojas erectas interceptan y retienen menos líquido pulverizado por unidad de superficie foliar que con las hojas horizontales.

- ◆ Retención.
  - Morfología y pelosidad de la superficie foliar.

La morfología determina estructuras rugosas y de cierta pelosidad, puede favorecer la retención del herbicida aplicado en gotas de muy pequeño tamaño.

- Formulación del herbicida

El vehículo o agente dispersante a través del cual se aplican los herbicidas influye decisivamente en su retención por las plantas. En ocasiones, se emplea aceite como vehículo dispersante, que proporciona una alta capacidad de adherencia a las hojas.



La mayoría de las formulaciones de herbicidas, se aplican mediante la pulverización de la solución o suspensión en agua. Dado que la tensión superficial del agua es muy elevada, su capacidad de adhesión o contacto con la superficie de las hojas es reducida por la naturaleza cerosa de estas. A fin de incrementar dicha capacidad de adhesión o contacto, se añade un mojante a la solución herbicida a pulverizar. El mojante al reducir la tensión superficial altera por completo la configuración de las gotitas del pulverizado, haciendo que la superficie de contacto de estas con la hoja aumente y no resbalen.

- ◆ Características de la aplicación del herbicida.

El caldo y el tamaño de las gotas del pulverizado influyen en la retención del herbicida. Ambos factores suelen estar interrelacionados en equipos convencionales de aplicación de herbicidas. Bajos volúmenes de caldo aplicados a altas presiones producen gotas de pequeño tamaño. Por el contrario cantidades elevadas de líquidos aplicadas a baja presión aumentan el tamaño de la gota.

Las gotas de pequeño tamaño tienen una mayor superficie de contacto por unidad de volumen de líquido que las de mayores y también una mayor capacidad de adherencia.

Normalmente los herbicidas de contacto requieren una alta cobertura de la masa vegetal para conseguir una adecuada eficacia. Por el contrario, herbicidas que se translocan a través del floema y se distribuyen luego por toda la planta requieren solo una cobertura parcial y, por consiguiente, menor volumen de caldo.

- ◆ Factores ambientales.

La lluvia es uno de los factores ambientales que más influye en la retención del herbicida cuando se produce después de la aplicación de este. Su efecto depende del tiempo transcurrido después de la aplicación de este y de su intensidad.

Se puede decir que los herbicidas requieren un intervalo variable entre 6 y 24 horas sin lluvia para evitar pérdidas por lavado, antes de este llegue a penetrar.

Si bien también se ha indicado que la lluvia de muy baja intensidad o el rocío pueden ayudar así a la redistribución del herbicida en la planta y facilitar su absorción.

El viento puede jugar un papel importante al alterar la superficie foliar por abrasión, desecación rápida de la solución y desplazamiento de partículas (deriva).

Absorción del herbicida por las hojas.

Una vez que el herbicida ha contactado con la superficie foliar puede suceder:

- Que se evapore y se pierda en la atmósfera.
- Que permanezca en la superficie de la cutícula en forma líquida o cristalina.
- Que penetre a través de la cutícula o de los estomas.

La penetración del herbicida tiene lugar a través de la superficie de las hojas, tallos, raíces cotiledones o por los estomas, la densidad de los estomas es muy baja en el haz de la mayoría de las dicotiledóneas, que es donde se deposita la mayor parte del herbicida. La penetración del herbicida a través de la cutícula puede ocurrir de alguna de las formas siguientes:

- Absorción por la zona cérea o lipófila de esta.
- Atravesando la cutícula y alcanzando el protoplasma, pero sin entrar en este, es decir, por vía apoplástica

(Apoplasto, “apo”, en griego es separado. Es la parte no viva de la planta y está constituida por los espacios intercelulares y el xilema es el sistema vascular de las plantas formado con paredes celulares muertas y transporta agua y elementos minerales desde las raíces a la parte superior de la planta. El xilema es el principal componente del apoplasto. La translocación por el xilema se hace vía apoplasto).

- Atravesando la cutícula y alcanzando el interior de las células protoplasmáticas, es decir, vía simplástica.

(Simplasto, “sym” en griego significa junto. Es el protoplasma o conjunto de células vivas unidas entre sí por plasmodesmos. Es un sistema continuo y el floema es su principal componente.

La translocación vía floema se hace por el simplasto. Floema es el sistema vascular de las plantas compuesto de células vivas y a través del cual se transportan el agua y las sustancias fotosintetizadas desde las hojas a los meristemas apicales, raíces y órganos de reserva).

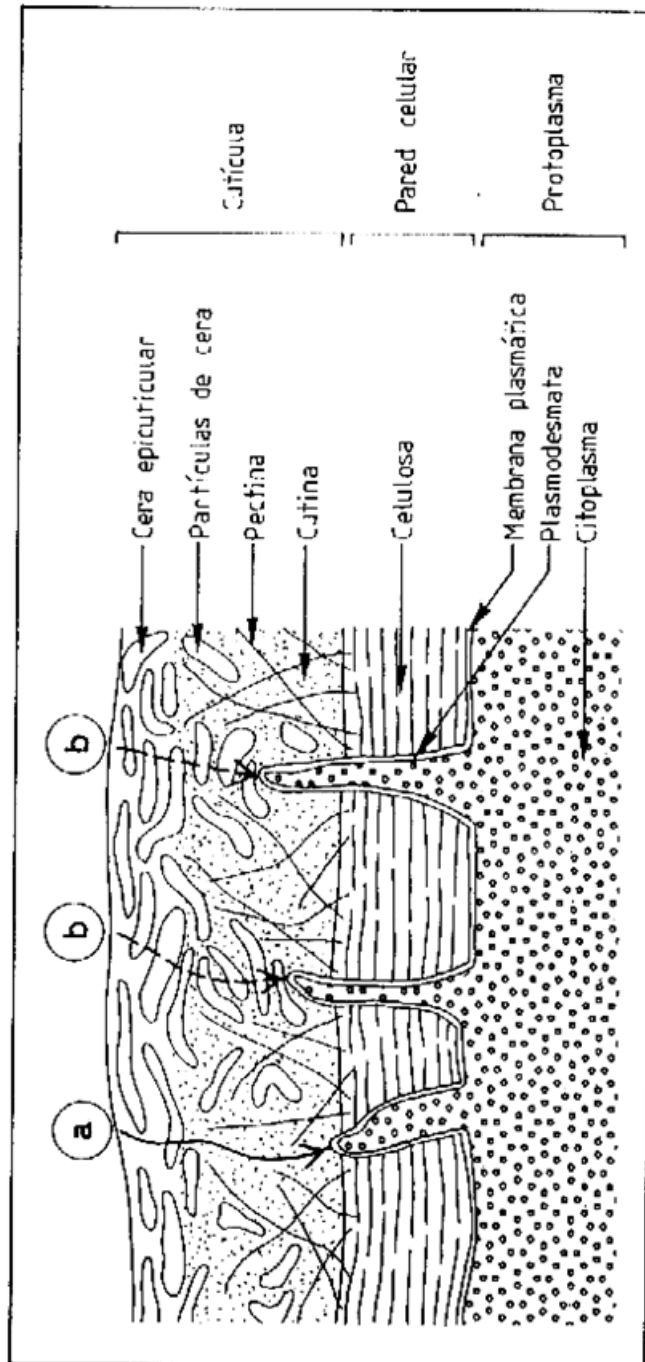
La principal barrera para la absorción de los herbicidas es la cutícula, que cubre todas las superficies aéreas y minimiza las pérdidas de agua de la planta. La capa externa consiste en cera cuticular con extrusiones de cera epicuticular, que varía en forma con la edad de la hoja y con la especie. Las ceras son no-polares, afines al aceite en su naturaleza y repelen al agua. Debajo de la cera cuticular está la capa de cutina, que es más hidrofílica que las ceras (Hidrófilo de la palabra griega hydros (agua) y philia (amistad); es el comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por el agua. En una disolución o coloide, las partículas hidrófilas tienden a acercarse y mantener contacto con el agua. Las moléculas hidrófilas son a su vez lipóforas, es decir no tienen afinidad por los lípidos o grasas y no se mezclan con ellas). Los agentes tensoactivos y otros aditivos de las formulaciones de herbicidas juegan un papel importante en la retención y penetración del herbicida a través de las cutículas cerosas. Los lugares preferenciales de entrada de los herbicidas son las células de protección de los estomas, los pelos y los nervios foliares en las especies de hoja ancha. Los estomas penetran la superficie foliar, pero la mayoría de los agentes tensoactivos no son capaces de reducir la tensión superficial de las soluciones acuosas lo suficientemente como para permitir la entrada de los herbicidas a través de los estomas. Se exceptúan los tensoactivos a partir de organosilicona.

La velocidad de penetración es directamente proporcional a la concentración externa del herbicida y a la velocidad de su movimiento desde la superficie interna de la cutícula hacia el apoplasto.

Los herbicidas solubles en aceite penetran fácilmente la cutícula a través de sus componentes lipofílicos bajo un amplio rango de condiciones climáticas y vegetales, mientras que los compuestos solubles en agua tienden a penetrar más lentamente, por lo que requieren de tensoactivos y de una cutícula hidratada para su penetración. La cutícula puede compararse a una esponja. En condiciones de alta humedad sus poros pueden estar abiertos y permiten el paso del agua, y conforme la humedad desciende, sus poros se cierran. Así, la absorción de herbicidas hidrosolubles aumenta por la alta

humedad relativa, adecuada humedad del suelo y temperaturas cálidas. El rocío o lluvias ligeras ( $< 0.5 \text{ mm/h}$ ) pueden aumentar la absorción del herbicida mediante al disolver nuevamente los depósitos del compuesto seco o cristalizado y pueden facilitar la redistribución del herbicida sobre la superficie de la planta, así como su depósito. Por ejemplo, en las gramíneas, la superficie adaxial de la vaina foliar sólo está cubierta ligeramente con cera, la humedad es alta y aquí la absorción es más rápida que sobre las superficies de las láminas foliares.

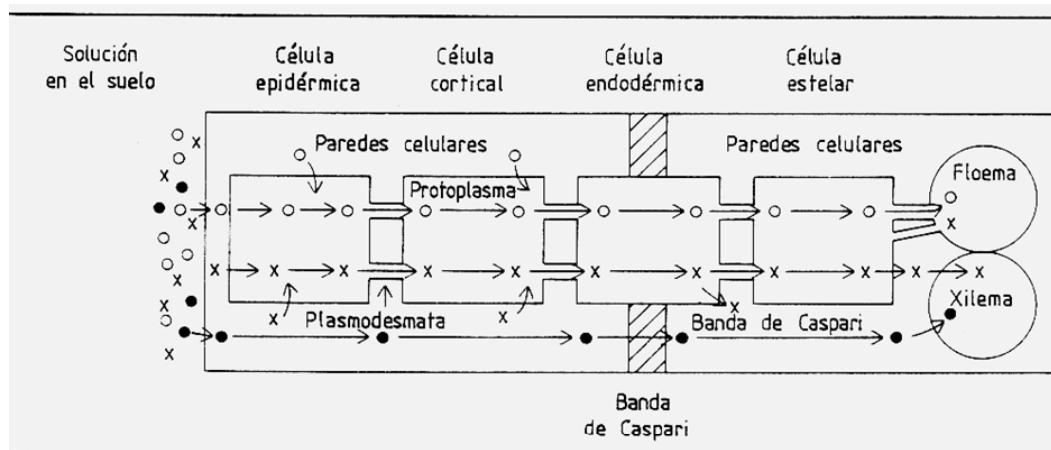
VÍAS DE ENTRADA DE LOS HERBICIDAS POR LA CUTÍCULA  
(García Torres y Fernández-Quincanilla, 1991)



—Hipotéticas vías de entrada a través de la cutícula y de la pared celular; a) Vía polar. b) Vía no polar.  
(Adaptado de F. D. Hess, Zeecon Research Institute, California).

En muchas especies los depósitos de cera de la cutícula foliar de las plantas jóvenes son menos profundos que los de las plantas de más edad, de ahí que las plantas jóvenes absorban más fácilmente determinados herbicidas.

El contenido céreo de la superficie foliar afecta a la capacidad de absorción del herbicida, según las características físicas de este. Así los herbicidas lipofílicos, vía lipoidal, que son poco solubles en agua y se absorben con facilidad a través de las cutículas lipofílicas, también no polar (hidrofóbica), el recorrido se realiza por las sustancias céricas de la cutícula y es el apropiado para compuestos no solubles en agua o herbicidas no polares. En la otra vía, o vía acuosa y también polar (hidrofílica), se atraviesa la zona cérica más superficial de la cutícula y prosigue el recorrido a través de las zonas no céricas de la cutina. Los herbicidas que se disocian en cationes (cargados positivamente), son solubles en agua y son bien absorbidos por la cutícula cargada negativamente. Por el contrario, los herbicidas que se disocian en aniones (cargados negativamente), son solubles en agua y se absorben con dificultad por la cutícula. En general, estos compuestos se ven afectados por la lluvia que ocurre después de la aplicación del herbicida, pues esta propicia su lavado. Por cualquiera de las dos vías el herbicida atraviesa la cutícula y a través de los plasmodesmos, el simplasto o materia viva; o el apoplasto a través de las paredes celulares.



Factores que influyen en la penetración de los herbicidas.

- Dosis.

Una vez depositado el herbicida en la superficie de la hoja, este irá penetrando a



través de la cutícula a velocidad variable, según su solubilidad y gradiente de concentración en dicha región. La velocidad de penetración aumenta proporcionalmente con la dosis o concentración externa del producto.

- Luz.

Para algunos herbicidas (fenoxi y benzoicos), la presencia de la luz estimula su penetración, especialmente en hojas jóvenes. Debido a que la luz favorece el contenido de auxinas que favorecen los procesos bioquímicos.

- Rocío.

El rocío en las hojas no produce lavado de herbicidas y puede intensificar la penetración de compuestos iónicos al redissolverlos.

- Temperatura.

La elevada temperatura estimula la penetración al alterar las características físicas de la cutícula y acelerar ciertos procesos fisiológicos.

- pH.

Los herbicidas a pH inferior a 5, presentan una considerable proporción del herbicida en forma de ácido no dissociado y puede penetrar por vía lipoidal.

#### ABSORCIÓN DEL HERBICIDA POR LAS RAICES.

El éxito de un tratamiento de herbicida aplicado al suelo depende de la entrada de concentraciones tóxicas del producto en las raíces o la parte aérea de las malezas. Esto está determinado por la duración de la exposición al herbicida y su concentración en las fases líquida o gaseosa. Los factores que influyen sobre la efectividad de los herbicidas de activos en el suelo son la adsorción, el movimiento y la degradación, pero se debe enfatizar que estos son factores interactuantes. Además, las propiedades químicas y físicas del herbicida también son aquí de importancia clave.

Adsorción. El herbicida al entrar en contacto con el suelo se fracciona y pasa a las fases sólida, líquida y gaseosa. Solo el que llega a las últimas dos fases estará disponible

para su absorción por la planta. El grado de adsorción sobre las partículas de suelo depende de su textura, el tipo de arcilla, el contenido de materia orgánica y la humedad del suelo. Los suelos arenosos tienen partículas relativamente grandes con un área superficial pequeña para la adsorción. Las arcillas tienen grandes áreas de superficie y alta capacidad para adsorber los herbicidas, siendo la montmorilonita más adsorbtiva que la illita o la caolinita. La materia orgánica es regularmente el factor más importante que determina la adsorción. De esta forma, algunos tipos de herbicidas, como las triazinas, no están disponibles a las plantas en suelos con un alto contenido de materia orgánica. Las dosis de los herbicidas activos en el suelo comúnmente se ajustan de acuerdo al contenido de materia orgánica del suelo.

El agua compite con los herbicidas por los sitios de adsorción, por lo que en suelos húmedos queda una mayor proporción del herbicida en las fases acuosas o gaseosas que en suelos secos. En el caso de herbicidas volátiles, con baja solubilidad en agua, como EPTC, la adsorción sobre los coloides es importante para su retención en el suelo, por lo que la aplicación sobre suelo húmedo conduce a mayores pérdidas hacia la atmósfera. Los herbicidas con presiones de vapor mayores a 15 mPa, incluyendo Trialato, Trifluralin, Vernolato, Butylato y EPTC son comúnmente incorporados mecánicamente al suelo inmediatamente después de la aplicación para reducir las pérdidas de vapor. CDAA y propachlor también tienen altas presiones de vapor, pero no requieren incorporación mecánica, ya que son relativamente solubles en agua y penetran en el suelo con la lluvia o la irrigación. En el caso de herbicidas, como simazina, que se une fuertemente a los coloides del suelo, su aplicación sobre suelos húmedos resulta en una menor adsorción y mayor disponibilidad para su absorción por las plantas que su aplicación sobre suelo seco.

Los herbicidas cargados positivamente, como paraquat, no tienen actividad en el suelo, ya que quedan fijados fuertemente por los coloides de suelo cargados negativamente.

Los herbicidas que son ácidos o bases débiles se ionizan sólo parcialmente. A valores de pH bajos (< 5.0) las triazinas se cargan positivamente y quedan fuertemente unidas a los coloides del suelo, pero bajo condiciones neutras o alcalinas quedan más disponibles en la solución del suelo. Bajo estas condiciones se comportan como

moléculas descargadas y la fuerza de enlace dependerá de propiedades como la solubilidad en agua y la presión de vapor.

Los herbicidas de un grupo químico dado tienden a adsorberse al suelo en relación inversa a su solubilidad en el agua. La distribución de los herbicidas entre los coloides del suelo y el agua regularmente se describe mediante el coeficiente de adsorción  $K_d$ , el cual se define como:

$$\frac{g.de\ herbicida / g.de\ suelo}{g\ de\ herbicida / ml\ de\ agua}$$

Los valores  $K_d$  son mayores para los herbicidas fuertemente adsorbidos.

Los herbicidas una vez en el suelo contactan con el sistema radicular de tres formas diferentes:

- Por interceptación de las raíces que en su continuo crecimiento exploran nuevas áreas.
- Por arrastre (mass-flow) del herbicida en el agua del suelo (es el más importante).
- Por difusión, la molécula herbicida se mueve hacia las raíces en la dirección del gradiente de concentración decreciente (herbicidas volátiles).

Una vez que el herbicida contacta con las raíces, no tiene ninguna dificultad en penetrar, siendo la forma más importante de entrada de los herbicidas en las raíces es con la corriente de agua que absorbe la planta en la zona pilosa de la raíz. Los pelos radiculares aumentan en gran medida la superficie radicular disponible para la absorción del agua y herbicidas.

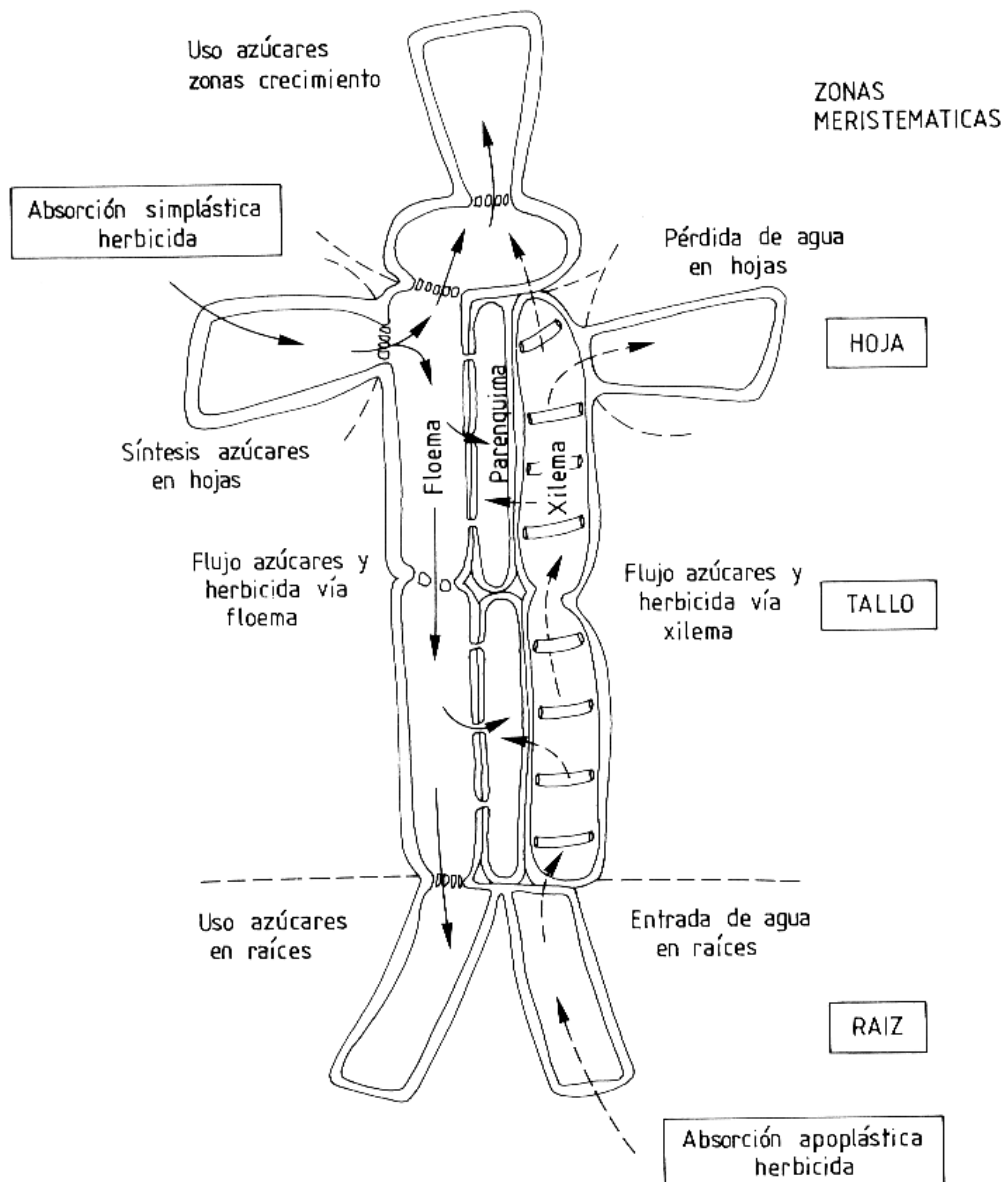
La banda de Caspari o capa lipofílica localizada en la zona endodérmica de la raíz, dificulta o retrasa el paso de los herbicidas al estar impregnada de suberina, que es impermeable al agua.

El paso de los herbicidas al interior de las raíces, puede tener lugar de las siguientes formas:

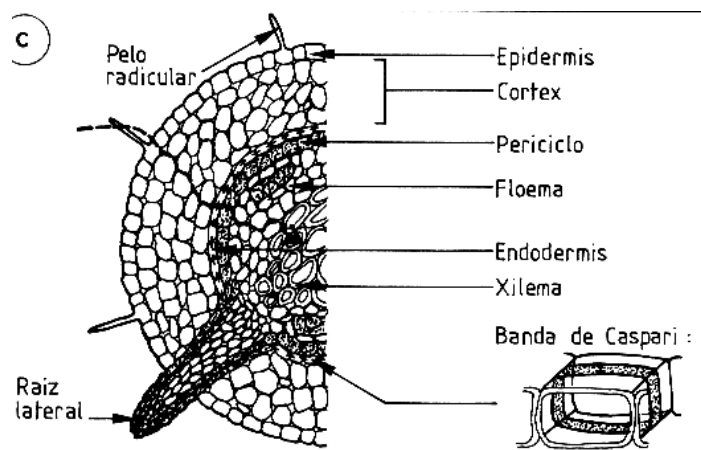
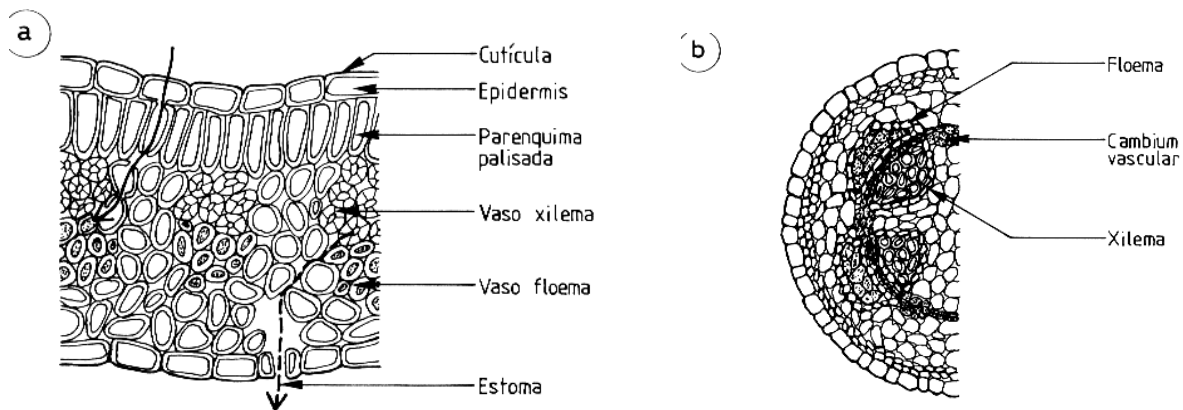
- Vía apoplástica, el herbicida pasa solo a través de las paredes celulares y del

xilema, atravesando la banda de Caspari.

- Vía simplástica, el herbicida se introduce inicialmente en las paredes celulares y atraviesa la membrana plasmática, alcanza el protoplasma de las células del cortex o epidermis y a través de los plasmodemos, pasa endodermis, estela y llega al floema.
- Vía mixta, apoplástica – simplástica, en sus inicios es similar a la simplástica, si bien una vez atravesada la banda de Caspari (en la endodermis), el herbicida atraviesa la pared celular y penetra en el xilema.



**Detalle de un corte transversal de una hoja, tallo y raíz y absorción/movimiento de herbicidas.**



### ABSORCIÓN DEL HERBICIDA A TRAVÉS DE LOS TALLOS JÓVENES.

La penetración de algunos herbicidas a través de tallos jóvenes (coleótilo en gramíneas o epicótilo y/o hipocótilo en dicotiledóneas), antes de que estos emerjan del suelo, tienen gran importancia. Normalmente los tallos jóvenes, en particular los de gramíneas, tienen una cutícula poco desarrollada que facilita la penetración de los herbicidas.

### MOVIMIENTO DEL HERBICIDA EN LA PLANTA.

Una vez que el herbicida ha penetrado en la planta, es posible que no llegue a

translocarse en largas distancias, debido a:

- Ser almacenado en alguna parte de la célula en donde no sea activo, en una vacuola o en un plasto.
- Reaccionar químicamente con algún compuesto natural de la célula inmovilizando o inactivándolo (conjugación química).
- Ser absorbido a algún componente celular del apoplasto o simplasto (conjugación).

Después de la penetración en las hojas y la absorción por las raíces, muchos herbicidas se mueven hacia otras partes de la planta en el apoplasto y el simplasto.

#### Vía floema o simplasto.

Este es un sistema vivo interconectado de células vegetales, que incluye al floema, que contiene el citoplasma metabólicamente activo, limitado en su parte externa por el plasmodema y por la parte interna de la membrana vacuolar, el tonoplasto. Este contiene orgánulos, como los cloroplastos y las mitocondrias. Los puntos de acción de todos los herbicidas están localizados en el simplasto.

Los azúcares producidos por la fotosíntesis en los tejidos verdes de las plantas (fuentes) son conducidos en el simplasto hacia las regiones, donde tiene lugar el crecimiento y el almacenamiento. En la mayoría de las circunstancias los herbicidas se mueven fuera de la hoja tratada solo a través del floema y los herbicidas o componentes de formulación que interfieran con el transporte en el floema limitan la translocación del herbicida. Usualmente el lento desarrollo de los síntomas fitotóxicos, como se observa por ejemplo con glifosato, está asociado a una translocación más efectiva del herbicida. La fuerza de la actividad de fuentes individuales cambia durante el año en respuesta a la senescencia de las hojas y a cambios en el desarrollo de la planta, como la floración, la formación de semillas y el desarrollo de órganos de almacenamiento. Las hojas muy jóvenes se comportan como depósitos, por lo que resultan ser pobres objetivos para la aplicación de herbicidas sistémicos. Las hojas que completan su desarrollo sobre plantas jóvenes tienden a exportar azúcares (y herbicidas) principalmente hacia el ápice del tallo. En la medida que la planta crece, el patrón de exportación se dirige más hacia las raíces y los órganos subterráneos. Es en esta etapa que la aplicación del herbicida generalmente

produce buen control sobre especies perennes, como *Imperata cylindrica* (L.) Raeuschel.

Además del estadio de desarrollo de la planta, los factores del ambiente también afectan el flujo de azúcares en el floema. Factores adversos que disminuyen la velocidad de crecimiento de la planta, como las bajas temperaturas y la sequía, reducen el potencial de eliminación o depósito, por lo que menos herbicida tiende a ser translocado. Otros factores, como la baja intensidad de luminosidad, limitan la producción de azúcares en las hojas y reduciendo la actividad de generación, con lo que pueden perjudicar la acción de herbicidas sistémicos. Por estas razones, normalmente se recomienda que los herbicidas sistémicos se deban aplicar cuando las malezas están en una fase de crecimiento activo. Cuando el herbicida es absorbido y no inmovilizado, la translocación a larga distancia se puede efectuar a través del sistema simplástico (vía floema), apoplástico (vía xilema), o en ambos sistemas.

Los herbicidas se mueven de las hojas con la corriente de sustancias fotosintetizadas y se depositan en las zonas con mayor actividad de crecimiento y, por consiguiente, con mayor demanda de azúcares (ápices de la planta, hojas jóvenes, frutos, semillas, raíces y órganos de reserva subterráneos en fase de formación. El movimiento vía floema se describe como la distribución de asimilados y/o herbicidas desde los órganos o centros de producción (hojas) a los centros de demanda o consumo.

Desde las hojas muy jóvenes no se translocan azúcares ni, por consiguiente herbicidas, pues ellas mismas demandan una gran cantidad de sustancias energéticas. En el momento en que la hoja empieza a exportar azúcares normalmente lo hace en dirección al ápice inmediatamente superior. Conforme las hojas se van haciendo más viejas parte de los azúcares producidos en las mismas se translocan en dirección descendente, intensificándose esta tendencia con el tiempo. Los frutos y semillas de la parte aérea y los órganos de reserva subterráneos acumulan gran cantidad de azúcares y herbicidas.

Una posible explicación del movimiento de herbicidas en el floema es que se produce por estar conjugados, uniéndose a un compuesto orgánico natural, normalmente un azúcar. Si bien algunos herbicidas no se translocan en el floema debido a la difusión o paso de los mismos desde el floema al xilema a través de los haces vasculares.

Dado que la translocación de herbicidas vía floema ocurre con los azúcares fotosintetizados, todas las condiciones ambientales que favorecen la fotosíntesis (alta iluminación, humedad y temperatura alta) favorecen, así mismo, el movimiento del herbicida.

El estado de desarrollo de las plantas tiene gran influencia en la translocación. Así, la mayoría de las especies perennes se controlan mejor cuando la aplicación de los herbicidas coincide con la época en que se produce un flujo más intenso de asimilados hacia los órganos de reserva, esto suele ocurrir una vez completado su desarrollo aéreo en primavera y antes de concluir el ciclo vegetativo en otoño.

El floema es un tejido vivo, por consiguiente, si debido a la toxicidad, cuando se aplica a altas dosis, se destruye parte del floema, se obstaculiza el transporte del mismo. Es decir, dosis elevadas provocan fitotoxicidad en la parte aérea, lo que conlleva una translocación reducida y bajo control de los órganos subterráneos. Por el contrario aplicaciones repetidas a bajas dosis suelen producir un control mucho más satisfactorio de perennes que una sola aplicación a dosis altas.

#### Vía xilema o apoplástico.

El apoplasto es una red interconectada de tejido no vivo, que incluye las paredes celulares y el xilema conductor del agua. Este está limitado externamente por la cutícula e internamente por la membrana más externa de la célula, el plasmodema. Los herbicidas que entran en la raíz (p.ej. atrazina), se mueven en el xilema con la corriente transpiratoria y siguen el movimiento del agua hasta las puntas de las hojas en las monocotiledóneas, o hasta sus márgenes, en las dicotiledóneas. Los herbicidas se acumulan donde se pierde el agua por evaporación y esto generalmente se refleja en la cronología y localización de los síntomas fitotóxicos. La mayor parte de los herbicidas aplicados en pre – emergencia son absorbidos por la zona pilosa de la raíz, penetran en el xilema y se mueven en este sistema junto con el flujo de agua ascendente. Al estar el xilema compuesto por tejidos o elementos no vivos, puede transportarse en el mismo compuesto tóxico sin que se altere.

Existen dos mecanismos que explican el movimiento del agua en el xilema:

- Por presión radicular, que puede ocurrir en plantas muy jóvenes, en condiciones de alto contenido de humedad en el suelo y aún con elevada humedad atmosférica, una

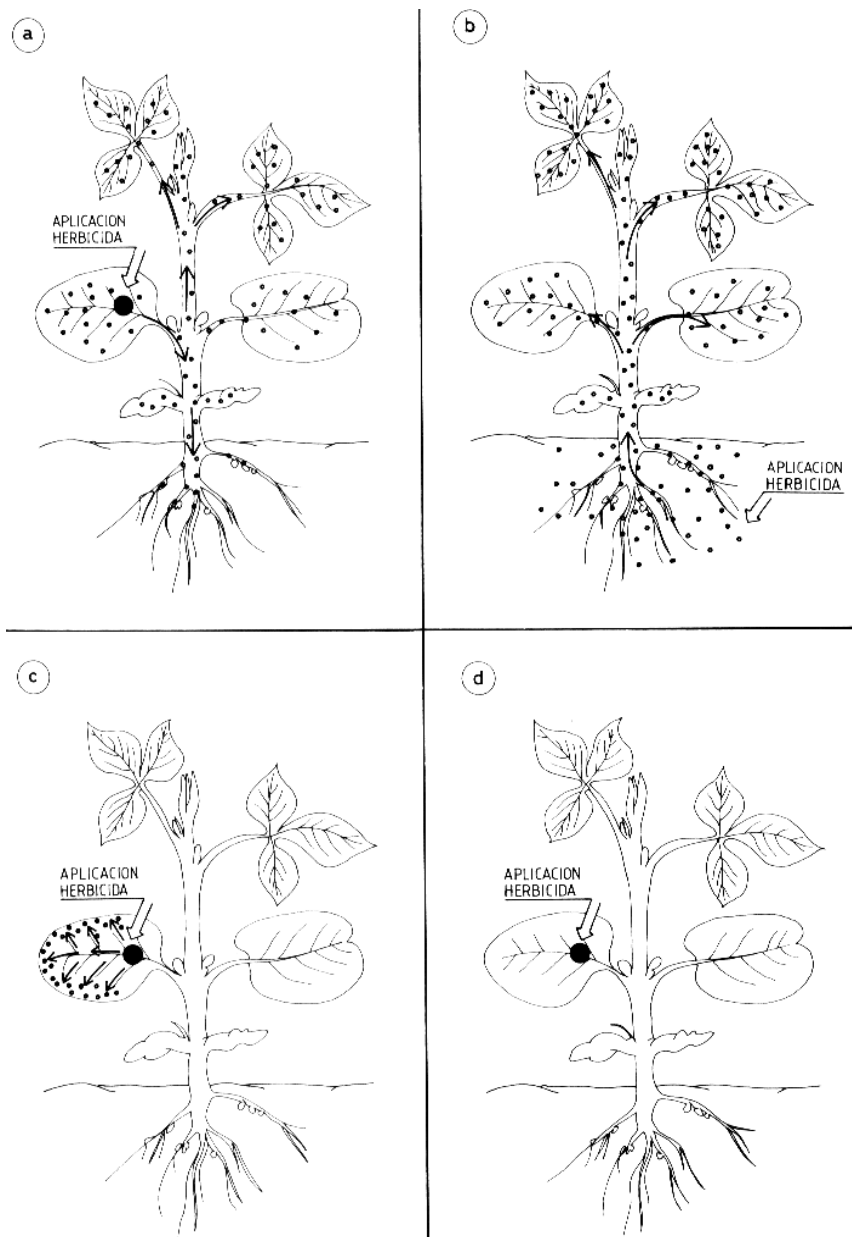


presión elevada en el xilema de la parte inferior de la parte inferior del sistema radicular provoca el movimiento ascendente.

- Por efecto de la transpiración, al producirse un descenso en el potencial hídrico de las hojas, es el mecanismo más importante que produce el movimiento de sustancias en el xilema. Durante el proceso de transpiración de las plantas se origina un potencial hídrico negativo en las hojas y un gradiente de potencial entre la pared del xilema próxima a las hojas y las raíces. El potencial hídrico de las raíces es inferior (más negativo) que el del suelo. En su conjunto se establece un gradiente de potencial hídrico desde el suelo a la atmósfera a través de la planta, lo que ocasiona la absorción y movimiento del agua, así como de las sustancias disueltas, por ejemplo herbicidas, hacia las zonas con un potencial hídrico más negativo.

La pérdida de agua desde una planta está determinada por la luz, la temperatura, la velocidad del viento y la humedad, así como por la disponibilidad de agua en el suelo. Sin embargo, en la medida en que el agua del suelo se hace menos disponible, otros factores pueden desplazar a aquellos más elementales que controlan la transpiración. Bajo condiciones adversas de humedad de suelo puede ocurrir una inversión de la corriente transpiratoria, por lo que el agua presente en las hojas será absorbida y conducida hacia las raíces. Bajo estas condiciones, se ha observado que diquat, aplicado al follaje de la patata como desecante, produce pudrición del extremo del tubérculo.

Un herbicida absorbido por las raíces y distribuido normalmente en el sistema del xilema, será transportado principalmente hacia las hojas abiertas, lo cual es un patrón ideal de distribución para cualquier compuesto inhibidor de la fotosíntesis. Por otra parte, a menos que tenga lugar alguna redistribución posterior dentro de la planta, este patrón no es adecuado para herbicidas, cuyo modo de acción esté asociado con los procesos de crecimiento. En tales casos, se debe producir una redistribución del compuesto hacia los ápices de crecimiento, proceso que involucra también al simplasto.



**Tipos de movimientos de herbicidas en las plantas:**

A) Vía floema. B) Vía xilema y floema. C) Vía xilema. D) Translocación limitada o no translocable.

Debemos considerar, que floema y xilema están muy próximos y que por lo tanto un herbicida que se transporta en cualquiera de ellos puede traspasarse al otro, por simple difusión o por absorción activa.

Algunos herbicidas no polares y de muy baja tensión superficial (aceites), pueden

transportarse a largas distancias a través de los espacios intercelulares de ambos sistemas, es decir los aceites que se absorben por vía foliar y se mueven en todas las direcciones.

## MECANISMOS DE ACCIÓN HERBICIDA EN EL ÁMBITO CELULAR.

Para que los herbicidas lleguen a ser activos en una determinada especie vegetal tienen que interrumpir alguno de los procesos fisiológicos esenciales de la planta.

Algunas familias de herbicidas, las sales y ac. inorgánicos, actúan gracias a su acidez, concentración osmótica y elevado poder de precipitación de las proteínas, lo que provoca una rápida destrucción de las estructuras protoplasmáticas. El mecanismo de otros herbicidas, como los aceites, debe su acción a la solubilización de las membranas celulares, que altera la semipermeabilidad y organización de las capas proteicas de las membranas y llega a producir un derrame de los componentes protoplasmáticos.

La mayoría de los grupos de herbicidas afectan, bien la fotosíntesis o la división celular y el crecimiento, pero algunos herbicidas parecen afectar más de un punto. Los herbicidas de un mismo grupo químico generalmente tienen el mismo sitio de acción, pero esto no siempre es así. No obstante, el mecanismo de acción de la mayoría de los herbicidas consiste en la interrupción de alguno de los procesos siguientes:

- Fotosíntesis y reacción de Hill.
- Reacción y transporte electrónico en las mitocondrias.
- Metabolismo de los ac. nucleicos y de la síntesis de proteína.

Herbicidas que interfieren con la fotosíntesis. Alrededor del 35% de todos los herbicidas disponibles comercialmente interfieren con la fotosíntesis, que es el proceso involucrado en la conversión de energía luminosa en energía química, para así producir la liberación de oxígeno y la transformación del CO<sub>2</sub> en azúcares.

## SELECTIVIDAD

Los tratamientos selectivos destruyen las malezas con poco o ningún daño al cultivo. La selectividad puede ser a causa de las propiedades del herbicida, de atributos de la planta, del momento de la aplicación del herbicida, de la técnica de aplicación o una

combinación de estos factores. Los tratamientos no selectivos o totales persiguen destruir todas las especies presentes y se usan antes de la siembra del cultivo, inmediatamente antes de la cosecha o en áreas no cultivables. Sin embargo, con frecuencia se observan respuestas diferentes de distintas especies a bajas dosis de los herbicidas.

#### SELECTIVIDAD HERBICIDA/CULTIVO.

Un herbicida "selectivo" puede ser aplicado a toda el área cultivable para el control de las malezas, con efecto mínimo sobre el cultivo. Esta fitotoxicidad diferenciada entre las especies de cultivo y de malezas es el resultado de uno o más de los siguientes factores: interceptación, retención, penetración, movilidad, metabolismo y actividad en el punto de acción del herbicida. El metabolismo del herbicida es el mecanismo de selectividad más generalizado, el cual es dependiente de la dosis en uso. Atrazina a 2-3 kg i.a./ha es selectiva en maíz, pero a 9 kg i.a./ha es un herbicida total. Un grupo de herbicidas que son ésteres, como imazamethabenz-metil, son inactivos a menos que sean hidrolizados a ácidos, que son más móviles en el floema que los ésteres. En el trigo tolerante, la des-esterificación es relativamente lenta, pero en las susceptibles Avena spp., el ácido fitotóxico se forma rápidamente. Este tipo de herbicida es a veces conocido como un sustrato suicida. El mayor margen de selectividad se encuentra en herbicidas que son incapaces de interactuar en el punto de acción del cultivo. Los ésteres ariloxifenoxialcanoicos, como fluazifop-butil, inhiben la acetil coenzima A en gramíneas, pero en plantas de hoja ancha la topografía del nicho objeto evita la acción y no se produce efecto herbicida.

Los mecanismos de selectividad de los herbicidas arriba descritos para cultivos, también se detectan en especies de malezas que no mueren con el tratamiento. El desarrollo de biotipos resistentes a herbicidas de especies de malezas se puede reducir mediante la rotación del uso de herbicidas con diferente composición química y modo de acción. La rotación de cultivos, que permita la introducción de otros herbicidas y otras prácticas culturales, como el cultivo mecánico, puede contribuir a retrasar o evitar el surgimiento de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas.

Tanto las técnicas convencionales de mejoramiento genético vegetal como las de biología molecular se han usado para aportar resistencia a las plantas cultivables, para así explotar el incremento del metabolismo, la modificación de los nichos- objeto de

acción y la sobre abundancia de la enzima objeto. Esto permite que herbicidas no selectivos, como glifosato y glufosinato, sean usados en cultivos como soja y patata, para así aumentar el grupo de cultivos en los cuales se pueden usar herbicidas como las sulfonilureas y las Imidazolinonas. Este desarrollo aumenta las opciones de uso de herbicidas, seguros para el operador y benignos en el ambiente, así como disponibles para su inclusión en programas de manejo integrado de malezas.

#### MOMENTO DE APLICACIÓN.

Tratamientos no selectivos, como glifosato, son ampliamente usados para destruir malezas y plantas de cultivo indeseables, antes de las labranzas y la plantación en los sistemas de labranza mínima. Glifosato también se puede usar en cereales como tratamiento inmediatamente anterior a la cosecha para el control de malezas perennes. Herbicidas de contacto, como paraquat, se pueden usar después de la plantación, por ejemplo en papa, con hasta un 10% de emergencia de la planta cultivable.

Los herbicidas no selectivos también se pueden aplicar cuando los cultivos perennes están latentes, como glifosato en espárrago.

Para muchos cultivos la selectividad es dependiente del estadio de desarrollo. 2, 4-D daña al trigo si se aplica antes del estadio de desarrollo de cuatro hojas o después de la formación de nudos. En este caso la fitotoxicidad herbicida está asociada a una rápida actividad meristemática.

#### APLICACIÓN DIRIGIDA.

El contacto de la aspersion con el cultivo se puede evitar, bien dirigiendo la aspersion sobre el objeto de interés a controlar o mediante el uso de pantallas. De esta forma, se pueden usar herbicidas que normalmente son fitotóxicos a los cultivos. Esta técnica se usa extensamente en árboles, arbustos frutales y viñedos. Sin embargo, con tratamientos post-emergentes, como glifosato, se debe tener gran cuidado de evitar la deriva de la aspersion.

#### PROTECCIÓN EN PROFUNDIDAD.

La profundidad de ubicación de las raíces, especialmente de cultivos perennes,

contribuye a la selectividad. Ciertos herbicidas, como simazina, permanecen en la capa superficial del suelo y pueden ser usados en cultivos susceptibles de raíces ubicadas profundamente, como los árboles frutales. El mismo principio se aplica a otras situaciones. Los cultivos anuales se pueden sembrar debajo de la capa de suelo alcanzada por el herbicida, con lo que se evita su absorción por las raíces, como en el trigo tratado en pre-emergencia con triallate.

En la mayoría de las situaciones la selectividad es relativa y depende de varios mecanismos. Esta es usualmente afectada por la variedad del cultivo, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, la dosis del herbicida, su formulación y aplicación. Debido a las complejas interacciones involucradas en la selectividad, es importante evaluar los nuevos herbicidas sobre las nuevas variedades de los cultivos bajo condiciones locales antes de su uso en el campo.

#### DETOXIFICACIÓN DE HERBICIDAS.

La detoxificación (inactivación, pérdida o degradación) de los herbicidas. La planta puede detoxificarse de los herbicidas por exudación a través de los tejidos, volatilización, fotodescomposición y degradación o descomposición química.

Los procesos de fotodescomposición y volatilización tienen más importancia en los herbicidas con actividad en el suelo.

El metabolismo de los herbicidas en las plantas constituye el mecanismo más importante de selectividad de los herbicidas entre malezas y cultivos o entre malezas susceptibles y tolerantes. Las plantas tolerantes detoxifican al herbicida con suficiente rapidez como para evitar que cantidades fitotóxicas del ingrediente activo se acumulen en el simplasto. El metabolismo de los herbicidas involucra transformaciones que aumentan la solubilidad en agua y esto regularmente es seguido por la conjugación con azúcares o aminoácidos. El margen de selectividad de muchos herbicidas, como isoproturon en trigo, es mucho más estrecho y la seguridad del cultivo está fuertemente influida por la variedad, el estadio de desarrollo y las condiciones climáticas.

La selectividad de algunos herbicidas, como los tiocarbamatos y las sulfonilureas, se puede aumentar en cultivos gramíneos mediante el uso de sustancias protectoras, que promueven la degradación y conjugación del herbicida en el cultivo, pero no en las

malezas. Las sustancias protectoras se usan como coberturas de semillas o en mezclas con el herbicida. Actualmente existen 15 combinaciones de herbicida/sustancia protectora en el mercado y en la Tabla 5 se muestran algunos representantes para los principales cultivos.

**Ejemplos de combinaciones herbicida/sustancia protectora y sus usos.**

Cultivo	Herbicida	Sustancia Protect.	Aplicación
Maíz	EPTC	dichlormid	mezcla de tanque
Trigo	fenoxaprop-etil	fenclorazole-etil	mezcla de tanque
Arroz	bensulfuron-metil	dimepiperato	mezcla de tanque
Sorgo	metolachlor	cyometrinil	cobertura de semilla

En contraste con las sustancias protectoras, ciertos compuestos sinérgicos aumentan la actividad herbicida mediante la prevención de su metabolismo. Así, aminotriazol se inactiva en algunas malezas por condensación con serina, cuya reacción es inhibida por el tiocianato de amonio, que se incorpora en varias formulaciones de este herbicida.

La inhibición del metabolismo de los herbicidas es deseable en las malezas, pero se debe tener cuidado de no dañar los cultivos. El control de malezas en arroz con propanil puede causar severa fitotoxicidad en el cultivo si se aplican insecticidas carbámicos u organofosforados inmediatamente antes o con el herbicida.

El metabolismo, que confiere tolerancia a los herbicidas en los cultivos, también se presenta en malezas. Por ejemplo, la acción débil de metribuzin contra *Ipomoea hederacea* (L.) Jacq. es debida a una rápida desanimación. El uso repetido de herbicidas con similar composición química puede conducir a la selección de biotipos resistentes a los mismos, con mayor capacidad para degradarlos, como *Alopecurus myosuroides* Huds. resistente a isoproturon.

Se ha estimado que menos del 1% del herbicida que llega a la superficie de la planta interactúa en el punto de acción, por lo que para muchos herbicidas y especies, el metabolismo es la principal causa de pérdidas del ingrediente activo.

## DEGRADACIÓN QUÍMICA DE LOS HERBICIDAS.

La degradación de los herbicidas puede ser física, química y biológica. Compuestos como trifluralin son susceptibles a la degradación mediante la radiación UV y por esta razón requieren de incorporación mecánica. Algunos herbicidas, como Metsulfuron, sufren fácilmente hidrólisis, especialmente a pH bajo.

Las enzimas microbianas (intra y extra-celulares) son responsables de la degradación de muchos compuestos y el uso continuado de algunas clases de plaguicidas, tales como los tiocarbamatos, conduce a un incremento de la población de organismos degradantes de los herbicidas y a aumentar el nivel de pérdidas de éstos. Tanto los cultivos como las malezas absorben los herbicidas y comúnmente aquellos tolerantes los metabolizan. No se puede generalizar la importancia de la degradación de herbicidas por las plantas en comparación con otras formas de degradación puesto que variará con los herbicidas y las características del suelo.

Numerosos herbicidas sufren en las plantas diversas reacciones químicas de degradación, la mayor parte de las cuales están catalizadas por enzimas.

Los principales tipos de degradación conocidas son:

- Oxidación
- Descarboxilación, con liberación de CO<sub>2</sub>
- Hidrólisis
- Hidrolización
- Conjugación
- Desalkilación
- Rotura del anillo

## PERSISTENCIA DE HERBICIDAS.

El conocimiento de la persistencia media de cada herbicida es importante para su correcta utilización. Así, desde un punto de vista agronómico es conveniente que los herbicidas persistan lo suficiente para controlar las malas hierbas en todo el ciclo de cultivo, si bien no debieran persistir excesivamente como para dañar al cultivo que sigue en la rotación. Desde un punto de vista ambiental es, asimismo importante conocer la



degradación previa del herbicida o por el contrario su posible acumulación en capas profundas del suelo, aguas subterráneas, lagos, y su persistencia en dichos medios.

Puede afirmarse en términos generales que los herbicidas se degradan proporcionalmente a la cantidad de los mismos que exista en el suelo. Si se aplica anualmente una dosis herbicida  $D$  kg/ha y se descompone anualmente un porcentaje  $r\%$ , las cantidades herbicidas máximas y mínimas acumuladas en los sucesivos años serán las siguientes:

Sección 1.01 Cantidad de herbicida		
	Máxima	Mínima
Año 1	$D$	$D(1 - r)$
Año 2	$D(1-r) + D = D(2 - r)$	$D(2 - r)(1 - r) = D(r^2 - 2r + 2)$
Año 3	$D(r^2 - 2r + 2) + D = D(3 - 2r + r^2)$	$D(3 - 2r + r^2)(1 - r)$

Si lo trasladamos a un caso práctico, un herbicida que se degrada un 80% anualmente y se aplica cada año a la dosis de 100 h/ha, se produciría una acumulación máxima de residuos de: 100 – 120 – 124 - 124,8 – 124,99 mg/ha.

Por regla general, la velocidad de degradación de la mayoría de los herbicidas aplicados a las dosis recomendadas en los cultivos es superior al 80%, por ello no se suelen producir acumulaciones de herbicidas, salvo que se emplean altas dosis.

#### MOVIMIENTO DEL HERBICIDA EN EL SUELO.

Independientemente de la incorporación mecánica de los herbicidas, el contacto con las raíces y partes subterráneas de las plantas depende del movimiento vertical en profundidad del herbicida en el perfil del suelo después de lluvias o irrigación. La cantidad de herbicida que se lixivia a través del suelo depende de su solubilidad y persistencia, del volumen de agua que esté pasando a través del suelo y de la relación de adsorción entre el herbicida y el suelo ( $K_d$ ). A través de los macroporos, tales como las quebraduras y las galerías hechas por lombrices de tierra, se produce un movimiento más rápido en profundidad del perfil de suelo, donde el herbicida se transporta tanto en solución como unido a partículas finas de suelo.

Cuando la evapotranspiración sobrepasa al movimiento del agua hacia abajo en el

perfil del suelo, el herbicida en solución se mueve por capilaridad hacia la superficie del suelo. Este proceso ha conducido a daños por residuos de herbicidas en los cultivos subsiguientes en rotación, sobre todo con compuestos solubles en agua, relativamente móviles, tales como Chlorsulfuron.

Durante lluvias intensas se produce el movimiento lateral del herbicida en solución y del que se encuentra unido a las partículas de suelo. Este se puede lavar mediante arrastre en la superficie del suelo, cuya cantidad dependerá de varios factores, como: la pendiente del lugar, el tipo de suelo, la cobertura del suelo, la intensidad y duración de la lluvia, las propiedades químicas y físicas del herbicida. El arrastre superficial es una de las causas principales de la contaminación de las aguas superficiales con herbicidas, que también puede producir una disminución de la eficacia del herbicida.

## LOS HERBICIDAS

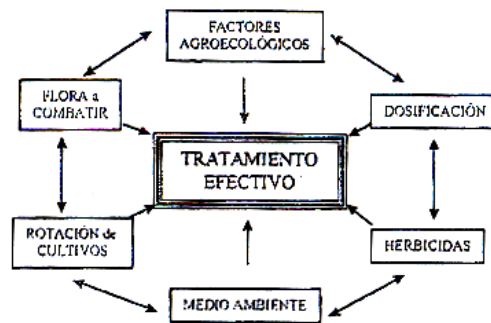
Estos pesticidas constituyen un avance revolucionario de la técnica agrícola de nuestro tiempo. Obedecen en su funcionamiento a complicadas reacciones bioquímicas que dependen de numerosos factores internos y externos de los vegetales. La complejidad de los mismos y el elevado número de circunstancias, que se deben dar a la vez para que se pueda reproducir alguna de estas delicadas reacciones, nos dan una idea de lo difícil que es la lucha herbicida, y especialmente el manejo de los que son selectivos de la remolacha u otros cultivos. Por esta razón, la utilización racional de los herbicidas requiere unos conocimientos mínimos, no sólo de la flora a combatir, sino de los fitofármacos encargados de esta función.

La lucha herbicida, en la actualidad, hay que entenderla dentro del marco de la rotación de los cultivos. Sería absurdo o poco recomendable, pensar en utilizar un herbicida en un cierto cultivo si no tenemos en cuenta la flora a combatir, las condiciones agroclimáticas y ecológicas; pero sin perder nunca de vista las posibles repercusiones que van a tener en una alternativa juiciosa, Lo ideal sería poder combatir con una sucesión de tratamientos diferentes a lo largo del tiempo, en la rotación, con distintos grupos de herbicidas y, que tengan un espectro complementario, evitando la aparición de poblaciones más difíciles de controlar, que se desarrollan por falta de competencia ante la eliminación de la maleza más sensible.

No debemos olvidar que un herbicida selectivo es un arma de dos filos, en el que la dosificación es esencial para su buen funcionamiento, ya que no llegar a la dosis equivale a no eliminar la flora y pasarse supone el acabar con el cultivo.

### PROBLEMÁTICA DE LOS TRATAMIENTOS HERBICIDAS.

Para obtener éxito en los tratamientos herbicidas hay que adecuar las materias activas idóneas para combatir la flora invasora, como hemos visto, dosificando perfectamente el producto, de acuerdo con el terreno o desarrollo de la planta cultivada y las malas hierbas, sin perder de vista la rotación de cultivos.



La exacta identificación "a priori" de la flora (nuestra enemiga) que va a invadir la parcela de remolacha, es la base fundamental de la elección juiciosa del herbicida. Esta identificación se puede hacer: en estado adulto, cuando la mala hierba ya ha hecho todo el daño (demasiado tarde); en estado de plántula, cuando aún podemos actuar con los herbicidas de postemergencia de remolacha; y en estado de semilla, lo que nos permitirá disponer de un inventario complejo de la posible flora invasora que nos puede complicar el cultivo.

Del análisis concienzudo de la situación de cada parcela, saldrá la elección de varios herbicidas, que deberemos aplicar siguiendo sus condiciones óptimas de funcionamiento.

Evidentemente. la totalidad del banco de semillas que se encuentra en la tierra, no está en condiciones de germinar.

Para que la germinación, que es el primer paso de la vida de una planta, se lleve a cabo, es necesario que las semillas estén aptas para tal acto.

Esto conlleva exigencias: fisiológicas y ecológicas.

- La semilla debe estar fisiológicamente madura o apta para germinar, exenta de inhibidores de germinación o dormiciones tegumentarias (ligado a la longevidad de las semillas).

- Las ecológicas y de posición, que son las idóneas, que necesita cada especie para su germinación, y están condicionadas al medio, como: Temperatura, humedad, luz, oxígeno, compuestos minerales y orgánicos, etc.; así como la distancia a la superficie de la tierra o nivel de enterramiento.

Todo esto nos puede indicar que cada especie de vegetal tiene sus propios medios de defensa natural para poder sobrevivir y escapar de la acción de los herbicidas.

Este fenómeno es especialmente marcado cuando una población de malas hierbas se encuentra bajo una presión continuada y del mismo sentido (repetición de un mismo herbicida). Entonces, la selección de flora resistente se produce: a nivel de especies tolerantes al herbicida; y a nivel de individuos genéricamente mejor dotados para escapar de su acción.

Por esta razón, conviene cambiar los herbicidas que va a recibir una misma parcela, procurando que, a lo largo de la rotación, echemos materias activas lo más alejadas posible en su forma de actuación.

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ACTIVIDAD DE LOS HERBICIDAS

Todos los herbicidas en función de su grupo químico se mueven por diferentes vías y actúa con arreglo a complicadas reacciones en el metabolismo de las malas hierbas.

Pero esta actividad herbicida puede cambiar según los factores del medio físico, bioquímico, e influir sobre su actividad, eficacia y selectividad.

Por ello hemos de tener en cuenta los factores, edáficos, climáticos y culturales, a la hora de efectuar un tratamiento.

## FACTORES EDÁFICOS,

Son los fundamentales responsables del buen funcionamiento de un herbicida residual, interviniendo en su: migración, adsorción, volatilización, degradación y ubicación en el suelo.

a). Migración: Teóricamente el transporte de un herbicida en el suelo se hace bajo la influencia del agua, bien de las precipitaciones atmosféricas que favorecen el movimiento de convección, bien en la de inhibición que permite un desplazamiento por difusión molecular. La migración de un herbicida en el suelo está controlada por dos factores limitantes: la solubilidad del herbicida y su adsorción por los coloides arcillosos y húmicos del terreno. Pero la disolución de un herbicida en el suelo no solamente depende de la cantidad de agua presente, sino también de su temperatura, de la naturaleza de la materia activa y su formulación. Como regla general, cuanto mayor es la temperatura, mayor será la solubilidad de los herbicidas.

b). Adsorción: Los elementos coloidales, así como arcillas y humus del suelo, pueden retener los herbicidas en la tierra. Esta adsorción es un fenómeno de atracción entre una superficie sólida y un líquido o vapor. Por esta razón, las tierras arenosas de Castilla y León (zonas de pinares), requieren las dosis bajas de herbicidas, mientras que algunas arcillosas de Andalucía requerirán las más elevadas.

En el mecanismo de adsorción intervienen:

- Naturaleza del coloide. Estudios de laboratorio demuestran que en los suelos pesados el movimiento de los herbicidas por percolación es menor que en los ligeros. Los efectos de fitotoxicidad siguen esta misma regla.
- Naturaleza del herbicida. Se ha observado que para un mismo tipo de suelo, la adsorción varía según las diferentes materias activas. Así se ha podido comprobar que este fenómeno aumenta en las ureas, siguiendo un orden determinado.
- Acidez del suelo. El valor del pH en el suelo no tiene una influencia uniforme en todos los herbicidas. Efectivamente mientras que la adsorción de los carbamatos y las ureas es relativamente independiente de este valor, se ha comprobado que la adsorción de las triazinas aumenta cuando el pH disminuye.
- Temperatura. Los valores pueden influir en la adsorción por las arcillas de

algunas materias activas como Simazina o Atrazina. Pero esto no se ha podido comprobar con el humus.

- Humedad del suelo. La presencia de agua en el suelo también influye en la adsorción. Así se ha comprobado que el LENACILO es más tóxico en suelos húmedos que en secos.

La importancia agronómica que tiene el fenómeno de la adsorción, es básica, a la hora de dosificar los herbicidas residuales. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta el poder adsorbente de un suelo: cuando los contenidos en arcillas o materias orgánicas son elevados, hay que aumentar la dosis de estos herbicidas, por el contrario, en suelos calcáreos, ligeros o arenosos, hay que disminuirla para evitar efectos de fitotoxicidad.

e). Volatilización. Esta constante física de los herbicidas, que se mide en mm de Hg, nos indica la tendencia que tienen estos productos a evaporarse. Cuanto más grande sea, la vaporización es mayor. Por esta razón hay que encerrar el TRIALATO y el CICLOATO, por medio de un pase de rastra.

d). Degradación. Se efectúa en el suelo, fundamentalmente por hidrólisis y por efecto de los microorganismos. La primera se efectúa en la fase acuosa del suelo y a menudo es catalizado por los protones de los coloides arcillosos o húmicos. La segunda la llevan a cabo los microorganismos del suelo, que producen metabolitos biológicamente activos o no, y la formación de CO<sub>2</sub>

e). Ubicación en el suelo. De esto depende la disponibilidad de los herbicidas en el mismo, La distribución de los herbicidas depende de sus características físico-químicas, los componentes del suelo, los microorganismos que soporta y las condiciones climáticas que determinan la persistencia del herbicida. Es decir, el periodo durante el cual el producto es agronómicamente activo y eficaz contra las malas hierbas. La profundidad a la que llega un herbicida es tanto más grande cuanto más pequeña sea su adsorción. Esta distribución puede estar perturbada por los fenómenos de degradación y evaporación.

## FACTORES CLIMÁTICOS

Además de su efecto indirecto en la vida microbiana y de los movimientos de los herbicidas en el suelo, tienen un efecto directo sobre la vegetación y el herbicida en el

momento de aplicación, los siguientes factores: insolación, temperatura, humedad del aire, precipitaciones y viento entre otros.

a) La insolación produce en ciertos herbicidas, por efecto de los rayos ultravioletas, su descomposición o degradación, como: clorotriazinas, ureas, fenilcarbamatos, dipiridilos, etc.

Experimentalmente se ha comprobado, que sus pérdidas por fotodescomposición son importantes,

Por otra parte, esta insolación, trae como consecuencia un crecimiento de las plantas y por lo tanto se activa su vida vegetativa, lo que conlleva una mayor absorción de los herbicidas.

b) La temperatura tiene una acción morfogénica importante y puede, por lo tanto, modificar la sensibilidad de una determinada especie a una cierta materia activa. En general, las temperaturas elevadas producen un aumento de absorción y migración de los herbicidas y, por lo tanto, un aumento de efectividad. No obstante, las demasiado elevadas pueden tener un efecto contrario en la efectividad al secar las gotitas de los caldos de las hojas. Así el FENMEDIFAN, se debe pulverizar entre 5 a 25°C, para obtener una buena selectividad y control de malas hierbas.

c) La humedad relativa del aire puede modificar física o fisiológicamente la penetración del herbicida: físicamente impidiendo la desecación demasiado rápida de las gotas de caldo; y fisiológicamente, con la modificación de abertura de los estomas.

d) Las precipitaciones intensas pueden dar lugar a fenómenos de lavado (efecto negativo). Pero otra parte, una lluvia suave, poco antes de un tratamiento, puede aumentar la mojabilidad de las hojas. Así como una ligera precipitación puede incorporar el herbicida residual en el suelo (efecto positivo).

e) El viento, constituye otro factor a tener en cuenta. ya que juega un papel muy importante en la acción de los herbicidas. Mueve las plantas y facilita que las hojas se dañen entre ellas, produciendo lesiones en los tejidos foliares, aumentando de la sensibilidad de las plantas. Un viento excesivo puede llevar gotitas a los cultivos cercanos y producir daños en ellos.

## FACTORES CULTURALES

Además de todos los factores anteriores, no hay que despreciar los factores culturales como: vigor de las plantas cultivadas (las remolachas vigorosas resisten mejor los herbicidas, que las enfermas o atacadas), correcta fertilización, ausencia de heridas mecánicas, etc.. Todas las medidas fitotécnicas, que se pongan en práctica en el cultivo de la remolacha azucarera, deben ir encaminadas a adelantar el cultivo y mantenerlo vigoroso.

