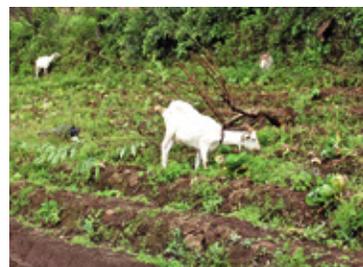


# El herbicida glifosato y sus alternativas

Serie Informes Técnicos IRET N° 44

Fernando Ramírez Muñoz  
Febrero 2021



# El herbicida glifosato y sus alternativas

**Fernando Ramírez Muñoz**

Es investigador y docente del Instituto Regional de Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional (UNA) de Costa Rica desde 1999. Ingeniero Agrónomo especialista en el estudio del uso y de los efectos de los plaguicidas sobre los sistemas de producción agrícola, el ambiente y la salud; en las alternativas agroecológicas y en el manejo de plantas arvenses y malezas. Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en Sistemas de Producción Agrícola. Miembro de la Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL) y de la International Pollutants Elimination Network (IPEN). Ha trabajado en proyectos de investigación y extensión sobre la búsqueda de alternativas a plaguicidas altamente peligrosos en varios cultivos de importancia agrícola.

**Acerca del IRET**

El Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional (IRET-UNA) es un centro de investigación con proyección nacional, regional e internacional, comprometido con el desarrollo sostenible, la protección y conservación de los ecosistemas naturales, la calidad de vida de los trabajadores y de la sociedad afectados por las sustancias tóxicas y otras actividades humanas.

Los conocimientos y datos generados por el Instituto en las áreas de Salud, Ambiente y Diagnóstico, son utilizados por entidades gubernamentales y no gubernamentales como fuente primaria de información en temas de exposición a las sustancias tóxicas y sus efectos en el ambiente, en la salud humana y en los sistemas de producción agrícola.

**Acerca del IPEN**

IPEN es una red global que está forjando un mundo más saludable donde las personas y el medio ambiente ya no se vean perjudicados por la producción, el uso y la eliminación de sustancias químicas tóxicas. La red ayudó a dar forma al primer tratado para prohibir los productos químicos más peligrosos del mundo, el Convenio de Estocolmo, y sigue siendo influyente en la implementación de este tratado, así como de otros tratados que rigen los productos químicos y los desechos, los Convenios de Rotterdam y Basilea y el Tratado de Mercurio de Minamata.

Más de 600 ONG de interés público en más de 124 países, en su mayoría naciones de ingresos bajos y medianos, forman parte de IPEN y trabajan para fortalecer las políticas nacionales y mundiales sobre productos químicos y desechos, contribuir a la investigación innovadora y construir un movimiento mundial en favor de un futuro sin tóxicos.

Contacto: [www.ipen.org](http://www.ipen.org)

Coordinación de la oficina de IPEN para América Latina, Fernando Bejarano [coordinacion@rapam.org](mailto:coordinacion@rapam.org)

El contenido de esta publicación es responsabilidad del autor.

**Acerca de RAP-AL**

La Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina, fundada en junio de 1983, es una red de organizaciones, instituciones, asociaciones e individuos que se oponen al uso masivo e indiscriminado de plaguicidas, planteando propuestas para reducir y eliminar su uso. Fomenta alternativas viables para el desarrollo de una agricultura, socialmente justa, ecológicamente sustentable y económicamente viable, que permita alcanzar la soberanía alimentaria de los pueblos. Asimismo, objeta los cultivos transgénicos porque atentan contra la salud y la diversidad biológica.

RAP-AL es el centro regional para América Latina y el Caribe de Pesticide Action Network (PAN), organización establecida en 1982, con oficinas regionales en Africa, Asia, Europa, América del Norte y América Latina.

<https://rap-al.org/>

**Acerca de Global Greengrants Fund (GGF)**

Global Greengrants Fund es una fundación benéfica que desde 1993 apoya los esfuerzos de base comunal para proteger el planeta del daño ambiental, la justicia social y los derechos de las personas, a través de pequeñas donaciones a causas ambientales en todo el mundo. Estos fondos se utilizan para apoyar a grupos comunitarios fuera de los Estados Unidos y Europa occidental que trabajan en temas de justicia ambiental, sostenibilidad y conservación.

632.9  
R173h    Ramírez Muñoz, Fernando, 1961-  
          El herbicida glifosato y sus alternativas / Fernando  
          Ramírez Muñoz. -- Primera edición. -- Heredia, Costa  
          Rica : Universidad Nacional, Instituto Regional de Estudios  
          en Sustancias Tóxicas, 2021.  
          1 recurso en línea (54 páginas, ilustraciones a color :  
          PDF. -- (Serie Informes Técnicos IRET ; 44)

Incluye referencias bibliográficas  
ISBN 978-9968-924-43-6

1. HERBICIDAS 2. IMPACTO AMBIENTAL 3. MA-  
LEZAS 4. CONTROL DE PLAGAS 5. CONTROL BIO-  
LÓGICO 6. CULTIVO I. Título II. Serie

Más información en:  
<http://www.iret.una.ac.cr/>  
[framirez@una.ac.cr](mailto:framirez@una.ac.cr)

**Indice**

Presentación..... 7

Introducción ..... 9

1     El herbicida glifosato ..... 11

2     Impactos del glifosato ..... 13

2.1   Impactos ambientales ..... 13

2.2   Impactos en los sistemas de producción agrícola..... 15

2.2.1 Efectos por deriva ..... 15

2.2.2 Efectos por exudación..... 17

2.2.3 Resistencia de malezas a glifosato ..... 18

2.3   Impactos en la salud humana ..... 20

3     Alternativas para el manejo de malezas sin herbicidas ..... 21

3.1   Manejo preventivo de malezas..... 22

3.1.1 Semilla de buena calidad ..... 22

3.1.2 Abonos orgánicos libres de malezas..... 22

3.1.3 Semilleros o almácigos libres de malezas ..... 22

3.1.4 Ingreso de ganado..... 23

3.1.5 Ingreso de equipo y maquinaria agrícola ..... 23

3.1.6 Ingreso de agua de riego ..... 23

3.2   Manejo cultural ..... 23

3.2.2 Siembra por almácigo ..... 23

3.2.3 Fertilización y riego localizado..... 24

3.2.4 Aumento en la densidad de siembra..... 24

3.2.5 Rotación de cultivos ..... 24

3.2.6 Cultivos mixtos ..... 25

3.3   Manejo físico ..... 26

3.3.1	Solarización . . . . .	26
3.3.2	Vapor o agua caliente . . . . .	26
3.3.3	Flameo . . . . .	26
3.3.4	Control con electricidad . . . . .	27
3.4	Manejo mecánico . . . . .	28
3.4.1	Herramientas manuales. . . . .	28
3.4.2	Equipos motorizados . . . . .	28
3.4.2.1	Rastras. . . . .	29
3.4.2.2	Chapeadoras . . . . .	30
3.4.2.3	Destructor de semillas. . . . .	30
4	Coberturas. . . . .	30
4.1	Coberturas muertas . . . . .	30
4.1.1	Residuos de cosechas . . . . .	31
4.1.2	Cubiertas plásticas . . . . .	32
4.2	Coberturas vivas o cultivos de cobertura . . . . .	33
4.3	Arvenses que enriquecen el agroecosistema. . . . .	35
5	Control biológico . . . . .	36
5.1	Uso de insectos . . . . .	36
5.2	Uso de patógenos . . . . .	37
5.3	Uso de animales . . . . .	38
6	Herbicidas naturales . . . . .	39
7	Manejo del banco de semillas . . . . .	41
8	Situación legal global del glifosato . . . . .	43
9	Conclusiones . . . . .	44
6 10	Referencias bibliográficas . . . . .	46

## Presentación

**D**esde finales del siglo pasado se inició un cambio del pensamiento científico sobre el rumbo que debería llevar el planeta en función de los procesos de desarrollo, crecimiento económico y productivismo. El desarrollo sostenible tiene que ver con todos los compromisos compartidos por la comunidad científica, buscando que los sistemas naturales no se destruyan por causa de los procesos de producción de bienes y servicios para cubrir las diversas necesidades que tiene la humanidad; en otras palabras, y según la definición más aceptada de desarrollo sostenible, satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

Si bien el glifosato es un herbicida que ha estado presente en una gran variedad de actividades agrí-

colas, y no agrícolas, desde hace muchos años y su contribución en la producción industrial de alimentos y en la facilidad de controlar plantas no deseadas es innegable, esos logros se han obtenido con un costo ambiental y en salud que a largo plazo puede resultar muy negativo para el futuro de la humanidad.

Ya en muchos países la sociedad civil ha iniciado los cuestionamientos y demandas para que se restrinjan y prohíban esta clase de sustancias. Algunos gobiernos, a pesar de la gran presión ejercida por las gigantescas compañías agroquímicas, han anunciado su intención de buscar alternativas al glifosato para ir gradualmente eliminando sus aplicaciones de zonas urbanas y agrícolas.

El presente documento ofrece información actualizada sobre características de la molécula del glifosato,

el herbicida de mayor uso en nuestro país, de su uso como controlador de malezas y madurante y de los impactos colaterales que tiene sobre la salud de las personas, el medio ambiente y otros organismos no blanco, cuya función es muy importantes en los servicios ecosistémicos. Así mismo, presenta una serie de posibles alternativas a aplicarse en diversas situaciones y cultivos, para que los usuarios puedan optar por otras formas de manejar sus arvenses, reduciendo los efectos adversos que posee este herbicida.

Agradezco el apoyo económico para elaboración e impresión de este documento al Fondo Global de Subvenciones Verdes (GGF), a la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN) y a la Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAPAL).

Dr. Fernando Ramírez Muñoz  
Área de Diagnóstico  
IRET - UNA

## Introducción

Los sistemas agrícolas modernos, de alta productividad y consumo energético, hacen un uso intensivo de los herbicidas como el método preferido para el control de malezas, pero esto ha traído algunas consecuencias de dependencia e insostenibilidad. Como se cita en el Informe de la Relatora Especial sobre el derecho a la alimentación (ONU, 2017):

“La evolución tecnológica en la fabricación de plaguicidas, entre otras innovaciones en materia de agricultura, ha contribuido sin duda a que la producción agrícola haya logrado mantenerse al nivel de los incrementos sin precedentes en la demanda de alimentos. Sin embargo, ello se ha logrado a costa de la salud humana y el medio ambiente, y al mismo tiempo el aumento de la producción de alimentos no ha logrado eliminar el hambre en todo el mundo. La dependencia de plaguicidas peligrosos es una solución a corto plazo que menoscaba el derecho

a una alimentación adecuada y el derecho a la salud de las generaciones presentes y futuras”.

Se calcula que los plaguicidas son responsables de 200.000 muertes por intoxicaciones agudas al año (Svensson et al., 2013), de las cuales el 99% se produce en países en desarrollo (Goldmann, 2004), donde las normas en materia de salud, seguridad y medio ambiente son menos estrictas y se aplican con menos rigor. Si bien los datos disponibles sobre la utilización mundial de plaguicidas son incompletos (FAO, 2020), en general se está de acuerdo en que la aplicación de plaguicidas ha aumentado drásticamente en los últimos decenios.

Uno de los grupos de mayor uso a nivel mundial son los herbicidas, plaguicidas utilizados para el control de plantas, principalmente aquellas que crecen asociadas a los cultivos agrícolas o arvenses, que comúnmente se les llama “male-

zas”, aunque cumplen un papel fundamental dentro de los sistemas de producción agrícola.

Normalmente los herbicidas se usan debido a la competencia por varios factores de producción (agua, espacio, luz, nutrientes) a que se exponen los cultivos con las plantas que espontáneamente crecen junto con ellos y que pueden reducir la productividad y calidad de los productos agropecuarios. También se han utilizado en zonas no agrícolas como una forma de mantener “limpios” bordes de carreteras, de vías férreas y otras áreas. Uno de los usos recientes de los herbicidas ha sido en sistemas de mínima labranza donde, especialmente el glifosato, se usa para eliminar la vegetación después de la cosecha o antes de la siembra de pastos o cultivos.

Una planta que crece en un lugar o en un momento no deseado, se le considera maleza. Por lo tanto,

definir a una planta como maleza, es netamente un juicio antropocéntrico sobre el valor de esa planta en un momento y en un lugar determinado. Estos juicios de valor pueden ser económicos, estéticos o basados en seguridad. Por ejemplo, la principal razón por la cual se controlan las malezas en la agricultura es porque reducen la cantidad cosechada y por ende las ganancias; en zonas no agrícolas o urbanas, el juicio es más estético, y en lugares donde pastan animales, ciertas plantas pueden ser tóxicas, urticantes o espinosas y son juzgadas y consideradas malezas.

Es así como algunas plantas son consideradas malezas o benéficas, dependiendo del lugar o momento donde crecen. Por ejemplo, un ganadero buscará controlar una planta de *Lantana camara* que crece en un potrero, ya que ésta le puede ocasionar interferencia con el crecimiento del pasto y es tóxica al ganado; pero el mismo productor siembra esa planta en los bordes de un cultivo de palma aceitera o cítricos, pues se considera una especie benéfica para el agroecosistema al atraer insectos benéficos como polinizadores y parasitoides.

Por esta razón, existe la necesidad de conocer las

plantas para determinar sus beneficios y no solamente controlarlas por el hecho de que no se consideran como el cultivo principal o que podrían competir con él. En un estudio de 20 años hecho en Dinamarca, Andreasen et al., (1996), encontraron que de 200 especies de malezas que crecían en campos agrícolas, el 80% eran especies muy débiles como para competir con el cultivo y afectar el rendimiento; solamente el 20% de las especies afectaban significativamente los rendimientos del cultivo. Esta misma percepción la tienen ciertos agricultores orgánicos de Zarceró, Alajuela, Costa Rica, donde definen a ciertas malezas como “dulces” y las toleran en sus campos pues les ofrecen muchos beneficios ecosistémicos como diversidad biológica, alimento de polinizadores, refugio de insectos depredadores, proteger el suelo de erosión, ayudar a infiltrar agua al suelo, aportar materia orgánica al suelo y a sus microorganismos, absorber nutrientes de perfiles del suelo diferentes a los que exploran las raíces del cultivo y darle protección al cultivo contra condiciones climáticas como viento, entran muchas otras.

Por el contrario, los productores identifican algu-

nas plantas que son muy competitivas y buscan controlarlas, evitando que produzcan semillas, seleccionando así aquellas consideradas “dulces”, pues se ha visto que los daños económicos se dan cuando pocas especies de malezas sobrepasan un umbral de daño. Por esto, la solución sería no controlar completamente las malezas, pues estas juegan un papel ecológico muy importante que es altamente beneficioso para el productor. Se deben conocer las características biológicas y ecológicas de las arvenses y utilizar prácticas agronómicas que permitan alcanzar y mantener un equilibrio en el agroecosistema.

El espíritu de un manejo sostenible de malezas es integrar un amplio rango de métodos de manejo y control de malezas, cada uno adaptado de acuerdo al tipo de maleza, de cultivo y de región, necesariamente aplicados de forma combinada de acuerdo al ciclo del cultivo. El objetivo de este documento es presentar alternativas al herbicida glifosato para el manejo de malezas en cultivos y otras actividades, buscando eliminar su uso para reducir los daños causados y a causar en la salud y en el ambiente.

## 1. El herbicida glifosato

El glifosato es el nombre del ingrediente activo de un herbicida de acción total o no selectivo, lo que significa que tiene la capacidad de matar todo tipo de plantas, tanto de hoja angosta como de hoja ancha; es de acción foliar, o sea que no se absorbe por las raíces, por lo que su aplicación es de tipo pos-emergente. Es sistémico, se transporta internamente desde el punto de contacto en la planta hacia otras de sus partes, por lo que es ampliamente usado para el control tanto de plantas herbáceas como leñosas, anuales o perennes y en diversos estados de crecimiento.

Es el herbicida de mayor uso en el mundo, tanto en términos de volumen como de valor. Se estima que para el 2020 alcanzó ventas globales por US\$7.8 billones y

se proyecta para el 2027 que lleguen a 11.1 billones de dólares (Research and Markets, 2021), y de igual forma en Costa Rica; actualmente es el segundo plaguicida de mayor importación y uso en el país, con una importación de 1.377 y 1.409 T de ingrediente activo (ia) y un uso de 944 y 780 T ia para los años 2017 y 2018 respectivamente (SFE, 2020).

La comercialización de este herbicida inició mundialmente en 1974 y los primeros registros de importación para Costa Rica son del año 1982 con cerca de 50 T ia (Ramírez et al. 2009). Se utiliza en aplicaciones en presembrado, dirigidas, en zonas urbanas (aunque su uso no es permitido) y en cultivos transgénicos resistentes; también se usa como madurador en caña de azúcar y está autoriza-

do en 32 cultivos agrícolas, además de pastos, plantaciones forestales y áreas no agrícolas, con 96 formulaciones diferentes (Ramírez et al., 2017). Se usa principalmente en cultivos perennes, áreas no agrícolas y para preparar terrenos antes de la siembra de cultivos anuales. Es un plaguicida autorizado para aplicarse de forma aérea en cultivos como caña, arroz, palma y banano (SFE, 2021).

Debido a la expiración de la exclusividad de la patente de Monsanto en el año 2000 (Duke y Powles, 2008), actualmente se encuentran registradas para su comercialización en el mercado nacional muchas formulaciones, entre estas Roundup, Atila, Balazo, Batalla, Biokil, Estelar, Evigras, Lince, Rambo, Rimaxato, Rival, Rodeo, Rondopaz y Skoba (Figura 1).



Figura 1. Algunos ejemplos de formulaciones de glifosato en el mercado.

La fitotoxicidad del glifosato es causada al bloquear una enzima (EPSPS) en la vía metabólica del shikimato, localizada en los cloroplastos de la célula, que tiene un papel principalmente en la síntesis de aminoácidos, los cuales luego se van a utilizar para la generación de proteínas estructurales y enzimas, pero también, en la de otras sustancias muy importantes que le ofrecen defensa a la planta como auxinas, fitoalexinas, fenoles, antocianinas y lignina. Esta ruta metabólica se encuentra presente solamente en plantas, bacterias y hongos. También, el glifosato puede reducir la fotosíntesis por medio de la inhibición de la biosíntesis de clorofila, ácidos grasos y aminoácidos (Fedtke y Duke, 2005).

En la planta, los órganos que poseen altas tasas de metabolismo y crecimiento representan importantes destinos del glifosato que se transporta siguiendo la ruta de los fotoasimilados hacia los meristemos, ubicados en los brotes y ápices de raíces (pelos radicales), donde se da la mayor acumulación del herbicida después de una aplicación (Reddy et al., 2008). Esto precisamente es lo que le da un gran poder de eliminar plantas leñosas, pero también la capacidad de dañar cultivos perennes y árboles.

Una característica asociada a la alta actividad del glifosato es que la mayoría de las plantas son incapaces de degradarlo metabólicamente. La enzima glifosato oxireductasa (GOX), que permite a algunos microorganismos del suelo metabolizar el glifosato en ácido aminometilfosfónico o aminometilfosfonato (AMPA) y glioxilato, no ha sido encontrada en plantas (Duke et al., 2003). Por lo tanto, una vez que el herbicida ingresa a una planta, no es posible su metabolización, por lo que permanece como glifosato hasta que los restos de la planta sean degradados por microbios del suelo. De esta forma, el utilizar glifosato como desecante en cultivos como maíz, trigo, soya, entre otros, provoca que posiblemente estos alimentos o harinas, tengan residuos del herbicida, aún después de tratarlos con algún tipo de calor o proceso.

Son los microorganismos (bacterias) del suelo los que llevan a cabo la degradación de la molécula de glifosato en AMPA, que también posee características tóxicas. Esta degradación es relativamente rápida en los suelos y cerca de un 50% del glifosato se metaboliza entre 9 a 32 días en suelos limosos y arcillosos, res-

pectivamente, sin embargo, se han detectado trazas de AMPA y de glifosato hasta 21 meses después de su aplicación (Simonsen et al., 2008). Por ejemplo, un estudio reciente determinó que tanto glifosato como AMPA, fueron detectados en el 45% de 300 muestras de suelo de 10 países europeos (Silva et al., 2017). Estas sustancias son fuertemente adsorbidas (>90%) en las partículas de arcillas y coloides orgánicos del suelo, pero no necesariamente inmovilizadas, ya que se pueden transportar junto con el suelo o sedimentos por medio del viento o del agua, en procesos erosivos o de arrastre por escorrentía, o ser consumidos por organismos vivos que se alimentan de suelo, como las lombrices, y ser depositadas en fuentes de agua como ríos o lagos.

Así, el glifosato, y otros herbicidas que por sus cargas químicas tienden a adherirse fuertemente a coloides y arcillas, no se inactivan al llegar al suelo, ya que su actividad biológica y tóxica continúa, aunque la planta no tenga la capacidad de absorberlos vía raíz, debido a su poca presencia en la solución acuosa del suelo. A pesar de su inactivación en el suelo como herbicida, varios estudios demuestran el impacto que tiene el

glifosato en bacterias que participan en el ciclo del nitrógeno, al interferir en los procesos de descomposición de la materia orgánica. De hecho, inicialmente fue patentado como un agente antimicrobial (US Patent number 7 771 736 B2. 2010) (Dill et al., 2010).

De forma contraria, en suelos ricos en fosfatos, el glifosato puede más fácilmente volverse móvil en el agua; se ha visto que el fósforo de los fertilizantes reduce la adsorción del glifosato por las partículas de suelo, se incrementa así la cantidad del herbicida libre en la solución del suelo y de esta manera es más disponible para que las raíces de las plantas lo absorban, para que las bacterias del suelo lo metabolicen o percolar por el perfil hasta llegar a contaminar aguas subterráneas (Munira et al., 2016).

## 2. Impactos del glifosato

Los herbicidas, incluido el glifosato, son aplicados en los campos e inevitablemente se distribuyen por el ambiente y entran en contacto con otros organismos que no son su blanco, con el aire, suelo, agua superficial y subterránea, y son arrastrados a otras zonas atmosféricas, ríos, mares, exponiendo directa e indi-

rectamente, a los organismos que habitan en esos ecosistemas. Sus residuos pueden estar presentes en los alimentos, en las aguas, incluso de lluvia, suelos y otros compartimentos, y pueden impactar de forma negativa en la salud de los agricultores, usuarios y consumidores de productos agrícolas. Así mismo, el glifosato impacta de manera negativa los sistemas de producción agrícola, ya sea de forma indirecta o directa, provocando daño en poblaciones de plantas, algas, hongos y bacterias que proveen valiosos servicios ecosistémicos o haciendo que algunas malezas evolucionen resistencia por su constante uso.

### 2.1 Impactos ambientales

El glifosato es un herbicida altamente hidrosoluble, con la capacidad de contaminar rápidamente aguas de escorrentía y superficiales como ríos y lagunas. Incluso puede llegar a la atmósfera y regresar por medio de precipitaciones. Investigadores en Argentina detectaron la presencia de glifosato y atrazina, los dos herbicidas que dominan el mercado argentino, en el 80 % de muestras de agua de lluvia en zonas urbanas, mientras que el AMPA se detectó en el 34 % de las

muestras (Alonso et al., 2018).

Este herbicida se adsorbe a las partículas del suelo (Tuffi-Santos et al., 2008) y puede de esta forma estar biodisponible para organismos que se alimentan por filtración de sedimentos. Así mismo, por ser un agente quelatante, lo que significa que no se une a la materia orgánica como tal sino a los iones metálicos que ésta posee (Székács et al., 2012), puede ser inmovilizado en el suelo, al quelatarse con cationes del terreno como Al, Fe, Mn, Zn, Ca, Mg, Na, S, Cd, Ni, Co, Pb, por lo que podría acumularse en el suelo y en plantas por períodos largos de tiempo, a veces años (Jayasumana et al., 2014).

Algunos de los efectos directos incluyen la toxicidad sobre organismos de una amplia variedad de especies dentro de grupos como peces, crustáceos, anfibios, pequeños mamíferos, aves, algas y microorganismos del suelo (Watts et al., 2016). Es muy tóxico de forma aguda para organismos acuáticos como peces y algas; medianamente tóxico para anfibios, crustáceos y lombrices de tierra (Folmar et al., 1979; Giesy et al., 2000). Pero, los coadyuvantes que se utilizan en sus formulaciones pueden aumentar

sus propiedades toxicológicas; un estudio hecho con la formulación original de Roundup, mostró que el surfactante podría ser el agente tóxico primario en el herbicida, especialmente para peces e invertebrados acuáticos (Folmar et al., 1979).

La adsorción del glifosato a partículas de arcilla y a metales, ayuda en la mayoría de suelos a que el glifosato no alcance a contaminar las aguas subterráneas; aunque Piccolo et al., (1996), determinaron que este herbicida puede ser transportado a través del perfil por sustancias húmicas. Esta situación es atenuada por su valor bajo de vida media en suelos, reportado de menos de una semana y hasta uno a dos meses (Giesy et al., 2000; Roy et al., 1989), pero por las aplicaciones repetidas, normales bajo prácticas agrícolas, sobre todo en cultivos perennes, al glifosato se le considera una sustancia pseudopersistente (Primost et al., 2017).

Efectos indirectos del glifosato incluyen la eliminación de todo tipo de plantas que crecen dentro o en bordes de los cultivos, en orillas de caminos y campos en descanso, e incluyen aquellas que producen flores con néctar y polen, que

son refugio para insectos benéficos, controladores de plagas y alimento para polinizadores, como abejas, mariposas, aves y murciélagos, que juegan un papel muy importante en los servicios ecosistémicos.

Los servicios del ecosistema, servicios ecosistémicos o servicios ambientales, son recursos o procesos naturales que benefician a los seres humanos. Incluye productos como agua potable limpia y procesos tales como la descomposición de desechos. Según el Programa de Medio Ambiente de la ONU, por medio de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, cerca del 40% de la economía mundial depende directamente de los servicios ecosistémicos y alrededor del 60% de estos se han deteriorado en los últimos 50 años, lo que trae serias preocupaciones globales; de hecho, el costo de degradación y de la inacción sobre servicios ecosistémicos para el 2050, puede ser mayor al 7% del Producto Interno Bruto Mundial por año (UNEP, 2005).

Algunos de estos servicios ecosistémicos que pueden estar siendo afectados por el uso de glifosato incluyen:

Lombrices de tierra: los llamados “ingenieros ecosistémicos” que fragmentan

y redistribuyen la materia orgánica del suelo, incrementan la penetrabilidad de las raíces, agua y aire a través de sus movimientos, lo que consecuentemente mejora la fertilidad en general del suelo. El glifosato afecta la reproducción de las lombrices de tierra lo que causa una fuerte reducción en sus poblaciones (Gaupp-Berghausen et al., 2015).

Efectos sobre insectos benéficos: varias especies de artrópodos benéficos, como insectos, arañas y ácaros depredadores de plagas agrícolas y polinizadores, resultan afectadas directamente por la exposición al glifosato e indirectamente por la pérdida de plantas donde se refugian y alimentan. La disminución o desaparición de algunos de estos agentes de control biológico provoca un desequilibrio natural que puede conllevar a la aparición de plagas, tanto nuevas como resurgentes, así como la disminución en la productividad de algunos cultivos y plantas silvestres a consecuencia de una disminución de la polinización. Un estudio, publicado por la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU., evidencia el daño a la microbiota intestinal beneficiosa de las abejas (representativas de insectos polinizadores) por parte de

las formulaciones de glifosato y menciona su aporte en la afectación o desaparición acelerada de las colonias de abejas, esenciales en agricultura y apicultura (Motta et al., 2018).

Comunidades microbianas del suelo: las bacterias, hongos, algas, actinomicetos, protozoarios y otros microorganismos que habitan el suelo, cumplen funciones tan importantes como la descomposición de residuos de plantas, mineralización de la materia orgánica, formación de humus y suelo fértil y reciclaje de carbono y otros nutrientes. Algunos hongos y bacterias facilitan la absorción radical de nutrientes en plantas. La repetida aplicación de glifosato altera la población microbiana de ciertos suelos, incrementa los patógenos presentes (Kremer y Means, 2009) y reducen la absorción de nutrientes por la planta (Zaller et al., 2017).

## 2.2 Impactos en los sistemas de producción agrícolas

### 2.2.1 Efectos por deriva

La aplicación de glifosato puede causar deriva en las plantas no blanco, generalmente del cultivo donde se quiere hacer control de malezas. Por ejemplo, puede ser fitotóxico para el café en dosis recibidas a través

de la deriva de la aspersión, particularmente en plantas jóvenes. Varios estudios han caracterizado los síntomas que provoca una intoxicación por este herbicida en el cultivo de café y los han descrito como la emergencia de hojas más pequeñas y angostas, quebradizas, con apariencia clorótica o decoloradas, similar a los causados por deficiencia de nitrógeno, boro y zinc (Franca et al., 2010) o hierro (Nelson, 2008) o por los efectos del viento (figura 2).

La intoxicación por glifosato en café puede persistir durante muchos meses, dependiendo de la dosis y los puntos de exposición en las plantas. Para una sola exposición a deriva, Castanheira et al., (2019) encontraron que el efecto tóxico ya no se observó a los 104 días posteriores. Pero es muy común que el control de malezas en café se realice de 2 a 4 veces al año usando glifosato. Los efectos negativos de esta exposición incluyen retraso o detención del crecimiento, amarillamiento foliar de las hojas nuevas principalmente, bajo rendimiento en fruta y la predisposición a enfermedades como mancha foliar y de frutos por *Cercospora*; después de una poda puede causar pudrición de las raíces y lento crecimiento de nuevos hijos (Nelson, 2008). También

se ha observado fitotoxicidad acompañada de reducción del área foliar y efectos adversos en la fotosíntesis (Carvalho et al., 2013).



Figura 2. Efecto de una intoxicación con glifosato en cafetos. Fuente: Biblioteca Cenicafé (2009).

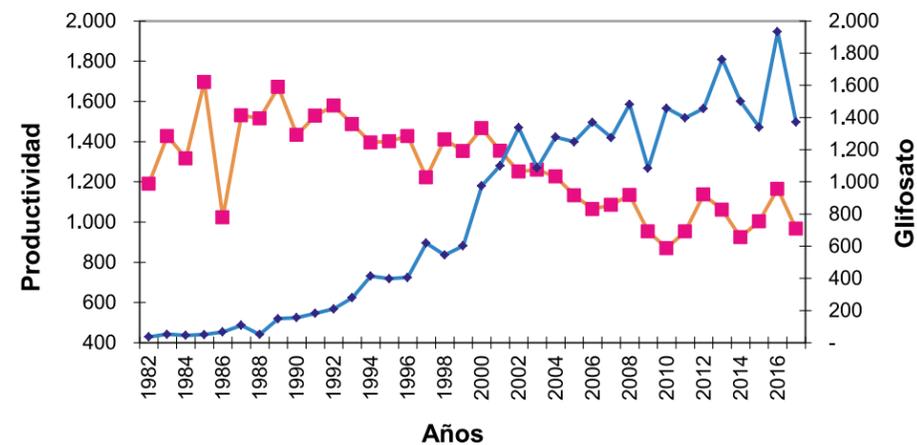
La productividad del café en Costa Rica ha venido a la baja desde los años en que se introdujo el glifosato en el mercado y se ha acentuado más a partir de los años en que, por pérdida de la exclusividad de la patente de Monsanto sobre el herbicida (año 2000), empezaron a ingresar al país mayores cantidades de formulaciones genéricas (gráfico 1). Esto puede estar relacionado con la intoxicación sistémica de las plantaciones de café, ya que el glifosato afecta principalmente los puntos de crecimiento

meristemáticos, haciendo que las plantas pierdan gran cantidad de pelos radicales y su capacidad de absorción de agua y nutrientes. En Costa Rica ha habido todo un programa de mejoramiento de los sistemas productivos en cuanto a renovación, variedades resistentes a enfermedades, mejora en el manejo del suelo, fertilización y poda, lo que le da más fuerza a hipotetizar sobre un efecto negativo del herbicida que hace que cada año se produzca menos café por hectárea.

Resultados relacionados indican que la exposición de *Brassica* spp. a una dosis subletal de glifosato, da como resultado la alteración de la fenología de la floración y la función reproductiva, los cuales aumentan en magnitud al aumentar la dosis. La floración de todas las especies sensibles se retrasó significativamente y se suprimió la función reproductiva, específicamente la fertilidad masculina (Londo et al., 2014).

Otro efecto que puede causar el glifosato sobre las

**Gráfico 1. Productividad de café (kg oro/ha) e importación de glifosato (T i.a.). Costa Rica.**



Fuente: adaptado con datos de Jiménez (2013) y SEPSA (2019).

plantas, aún en condiciones de deriva, es la disminución de las concentraciones de calcio, manganeso, magnesio y hierro, tanto en hojas como en semillas, al inmovilizar fisiológicamente estos nutrientes, especialmente en los tejidos meristemáticos, debido a que este herbicida es un poderoso agente quelatante para cationes bivalentes (Cakmak et al., 2009).

En estudios de laboratorio se encontró que el herbicida incrementa la susceptibilidad a enfermedades y reduce el crecimiento de bacterias que fijan nitrógeno (Cox, 1998); lo que afecta la cantidad y la diversidad de microorganismos del suelo, que son vitales para los procesos metabólicos sobre la materia orgánica (Andréa et al., 2003).

**2.2.2 Efectos por exudación**

La movilidad del glifosato en el floema (tejidos vasculares donde circulan los fotoasimilados) puede favorecer su exudación por el sistema radical de las plantas tratadas (Coupland y Caseley, 1979). El glifosato puede ser exudado por raíces y retornar en forma disponible a la solución del suelo (Massenssini et al., 2008); y si permanece disponible por un tiempo sufi-

cientemente largo, de uno a cinco días, puede causar cierto daño a las plantas que lo absorben (Salazar y Appleby, 1982).

Algunos autores como Rodrigues et al., (1982), reportan en plantas de trigo tratadas, exudación de glifosato hacia el suelo con la subsecuente absorción del herbicida por plantas adyacentes de maíz. Tuffi-Santos et al. (2008), también encontraron glifosato radio marcado exudado de plantas tratadas del pasto *Brachiaria decumbens*, que posteriormente fue absorbido vía raíz por plantas vecinas de eucalipto, en concentraciones inferiores a las necesarias para causar daño visible al cultivo (en-

tre 0,5% y 0,9% del glifosato aplicado).

Un experimento similar realizado con almácigo de café, aplicando soluciones crecientes de glifosato al pasto *Brachiaria* sp que crecía junto a las plantas del café sembrado en macetas, encontró reducción del crecimiento de las plantas de café a partir de concentraciones de 1% de glifosato (la dosis comercial de glifosato se ubica entre 1,5 y 2%), lo que confirma que el glifosato exudado por las raíces de las malezas puede ser absorbido por el cultivo adyacente, por lo que se concluye que una aplicación dirigida de glifosato no es segura para el cultivo (figura 3).



Figura 3. Aplicación de glifosato (arriba izquierda); 6 días después de la aplicación (arriba derecha) y efecto sobre el café (abajo). Fuente: Biblioteca Cenicafé (2009).

En otros cultivos, como el arroz, el investigador independiente Laing (2015), propone que los síntomas de “Pico de Loro” frecuentemente observados en las incidencias de vaneamiento, son los efectos fitotóxicos muy variables de glifosato y/o AMPA, que ocurren después de la fertilización de los arrozales con fósforo soluble y la subsecuente desorción de los organofosfatos desde el complejo de las arcillas. Los organofosfatos se mueven vía la solución del suelo hasta las raíces finas superficiales del arroz y vía xilema hasta los meristemas de las espiguillas en desarrollo. Los efectos fitotóxicos en las futuras panículas probablemente ocurren desde la etapa del inicio meristemático de las espiguillas (~65 días después la siembra) hasta el embuchamiento (~85 dds).

### 2.2.3 Resistencia de malezas al glifosato

Debido a la variabilidad genética de las malezas y como consecuencia de la presión selectiva impuesta por la aplicación continua de herbicidas, que caracteriza a los sistemas convencionales de producción agrícola, es posible la evolución de biotipos de malezas que dejan de ser controladas por

un determinado herbicida al que originalmente eran susceptibles. Tal respuesta se conoce como resistencia, siendo una característica seleccionada en una población específica (biotipo).

Por su naturaleza biocida, el herbicida actúa sobre las plantas y selecciona las que naturalmente poseen un mecanismo que les permite soportar el efecto del producto, sobreviviendo y reproduciéndose. A medida que se suceden las generaciones expuestas al herbicida, se incrementa por selección el número de individuos resistentes que no se controlan, hasta constituirse en la mayor proporción de la población, haciéndose evidente la ineficacia del herbicida.

Inicialmente se pensaba que la evolución de malezas resistentes a glifosato sería muy lenta y que los niveles de resistencia serían muy bajos (Bradshaw et al., 1997); sin embargo, para el año 2015, ya un tercio del área cultivada con maíz, soya y algodón en Estados Unidos, Brasil y Argentina está infestada con malezas resistentes a glifosato (Peters y Strek, 2016).

El número de casos y especies resistentes a glifosato va en aumento hasta conformar actualmente un amplio grupo de 328 bio-

tipos pertenecientes a 51 especies de malezas, en 30 países: Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Nueva Zelanda, Francia, España, Hungría, Italia, Suiza, Indonesia, Israel, China, Japón, Malasia, Corea del Sur, Sudáfrica, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Venezuela, Paraguay, Portugal, Grecia, Turquía, República Checa y Polonia (Heap, 2021).

Gran parte de las malezas que han evolucionado resistencia al glifosato lo han hecho en cultivos perennes, con la similitud de recibir aplicaciones con dosis comerciales frecuentes y por varios años. Otros casos de evolución rápida de resistencia a glifosato han ocurrido por utilizar el herbicida persistentemente a dosis bajas, como en el caso de Australia, donde las dosis recomendadas son aproximadamente la mitad de las utilizadas para el mismo propósito en otras partes del mundo (Pratley et al., 1996). En Costa Rica se reportan plantas resistentes a glifosato en campos de pejibaye para palmito y banano después de 8 años de utilizarlo como método principal o único de control de malezas, no así en cultivos como cítricos o palma africana, donde además del glifosato se utilizan otros

herbicidas y métodos mecánicos, físicos y culturales para manejar las malezas (Ramírez, 2017).

### 2.3 Impactos en la salud humana

Los plaguicidas son sustancias químicas deliberadamente tóxicas, creadas para interferir algún sistema biológico, pero carecen de selectividad real, afectando simultáneamente especies y otras categorías de seres vivos, como el ser humano. La toxicidad aguda es la capacidad del plaguicida de producir un daño agudo a la salud a través de una o múltiples exposiciones, en un período de tiempo relativamente corto. La dosis letal media DL<sub>50</sub>, (oral, dérmica) y la concentración media letal CL<sub>50</sub> (inhalada) son concebidas para valorar la respuesta aguda a la exposición, pero no los efectos crónicos en la salud (ONU, 2017), en los que la población general se ve afectada.

Desde su introducción, la formulación de glifosato ha sido promocionada como el herbicida más seguro, por su baja toxicidad aguda para el ser humano y el ambiente, a pesar de que la norma de aplicación menciona indumentaria de protección total (Williams et al., 2000; Duke et al., 2008).

El glifosato fue clasificado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como grupo IV (en condiciones normales de uso no ofrece peligro) de toxicidad aguda, referida a efectos inmediatos a la exposición. Esta falta de sensación de inocuidad ha promovido tanto su fácil acceso como su manipulación desprotegida (Cuhra et al., 2016).

Sin embargo, otros organismos como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) lo ubican en categoría III (precaución) y a algunas formulaciones de glifosato en categoría I (peligro) y II (advertencia), a causa de producir irritación primaria de ojos e irritación de piel (EPA, 1993).

En Costa Rica, el glifosato es el herbicida que produce la mayor cantidad de intoxicaciones agudas por plaguicidas, principalmente en el área agrícola y de forma ocupacional. Según datos de intoxicaciones agudas por plaguicidas del Centro Nacional de Control de Intoxicaciones (CNCI, 2020), para el año 2019 se reportaron 93 casos (7,3%) debido a la exposición al glifosato, por encima de otros herbicidas como paraquat (74 casos, 5,8%), 2,4-D (43 casos, 3,4%), picloran (17 casos, 1,3%) y metsulfuron meti-

lo (12 casos, 0,9%). De las intoxicaciones por plaguicidas, la mayoría se debió a causas ocupacionales (270), por encima de los intentos de suicidio (148), causas ambientales (106) y causas accidentales (79) y las rutas de exposición principales fueron por inhalación o por la piel 432, por ingestión 227 y por los ojos 23.

La consideración de años de estudios científicos publicados, revisados por pares, sobre el glifosato y sus formulaciones, llevaron a la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC por sus siglas en inglés), órgano de la OMS, a identificar el glifosato como “probablemente cancerígeno”: y por esta razón está clasificado como un Plaguicida Altamente Peligroso (HHP por sus siglas en inglés) en la lista de PAN Internacional (PAN, 2019). La OMS concluyó que: 1-Existe evidencia fuerte por estudios de laboratorio para dos mecanismos carcinogénicos, genotoxicidad y estrés oxidativo, que causan impacto tumoral en roedores; 2- Existe evidencia limitada epidemiológica (metaanálisis en humanos) para linfoma no Hodgkin (LNH), exponiendo también su capacidad de promover daño cromosómico y de ADN en células humanas; 3- Hay

evidencia suficiente de carcinogenicidad en animales de laboratorio (estudios de largo plazo).

Para valorar el peligro de cáncer en humanos, la IARC tomó en cuenta evidencia de estudios de 3 diferentes países donde un total de 2592 trabajadores, desarrollaron LNH después de exposición a formulaciones con glifosato y de metaanálisis de todos los estudios de LNH disponibles. Es biológicamente plausible que agentes para los que existe suficiente evidencia de carcinogenicidad en animales experimentales también presenten un peligro carcinogénico para el ser humano; información científica adicional demuestra que el agente causa cáncer a través de mecanismos específicos de especie, que operan tanto en animales de experimentación como en humanos (IARC, 2017).

Mucha de la exposición al glifosato de las personas no usuarias, se da a través de la alimentación. La presencia más relevante del glifosato en la cadena alimentaria procede de alimentos genéticamente modificados (OGM) tolerantes a altos niveles de este herbicida (Gasnier et al., 2009; Stephenson et al., 2016; Parvez et al., 2018), como maíz y soya, y de los que no siendo OGM, han sido sometidos al uso de gli-

fosato precosecha como desecante o madurante (Smith, 2016).

En Costa Rica, en un estudio con agricultores de la zona productora de hortalizas de Zarcero, Alajuela, se detectaron niveles de plaguicidas y productos de su degradación, tanto en la orina de los agricultores de fincas convencionales como en los de fincas orgánicas; los niveles de mancozeb, clorpirifos y piretroides fueron más altos entre los trabajadores de fincas convencionales, no así los niveles de glifosato, que fueron similares entre agricultores orgánicos y convencionales (Fuhrmann et al., 2019). Esto podría indicar una exposición de los agricultores orgánicos al glifosato vía alimentación.

En trigo, el glifosato tiene el potencial de afectar la síntesis y las propiedades estructurales o químicas del almidón, al interferir en el proceso de fotosíntesis y en características fisicoquímicas como distribución del tamaño de los gránulos, digestibilidad y propiedades adhesivas, dependiendo del momento de madurez fisiológica de la aplicación de glifosato como desecante precosecha (Malalgoda et al., 2020). Esto podría estar relacionado con la enfermedad celiaca o la intolerancia al gluten de trigo; Xu et al.,

(2019), encontraron concentraciones de glifosato en granos de trigo de 11 mg/kg, y Smith (2016), en las islas Bermudas, encontró residuos de glifosato en productos de supermercados como harinas de trigo, hojuelas de maíz y avena.

Los seres humanos y otros animales poseen un microbioma intestinal con un ensamblaje único de microorganismos (bacterias, archaea, hongos, virus), que modula funciones y desarrollos cruciales en el cuerpo y mantiene un rol significativo (durante toda la vida) en el proceso salud enfermedad del huésped, por ejemplo, en la síntesis de serotonina, melatonina, dopamina, elementos esenciales para el sistema nervioso central (Sharon et al., 2016). El perfil de la microbiota intestinal puede ser afectado por los residuos de glifosato en los componentes de los alimentos concentrados, lo que se ha descrito en estudios de bovinos y aves de corral donde se evidenció una mayor resistencia de las bacterias patógenas y una mayor sensibilidad/vulnerabilidad de las benéficas (Kruger et al., 2014).

De la misma forma, los residuos de formulaciones de glifosato pueden suponer mayor riesgo para tejidos del riñón e hígado (Watts et al., 2016); estudios de laborato-

rio y de animales de granja, muestran niveles de 10 a 100 veces mayores en estos órganos que en grasa, músculo y otros tejidos (Wunnapuk et al., 2014; Myers et al., 2015). Una de las hipótesis para el daño renal es que por su estructura quelatante es capaz de formar complejos estables con componentes del agua dura y metales nefrotóxicos como el arsénico y el cadmio, sobre todo de fertilizantes y plaguicidas, que al llegar al riñón se disocian del glifosato por acción del amonio y un pH ácido y ambos componentes (glifosato y metales) provocan estrés oxidativo, estrés nitrosativo, apoptosis y necrosis de las células renales (Coutinho et al., 2005; Jayassumana et al., 2014).

Aun en dosis diluidas mil veces, el herbicida Roundup estimula la muerte de las células de embriones humanos, lo que podría provocar malformaciones, abortos, problemas hormonales, genitales o de reproducción, además de distintos tipos de cánceres (Benachour y Séralini, 2009).

A pesar de que existen opiniones y estudios que apoyan o desmienten la toxicidad crónica del glifosato, se debe ser cauto y aplicar el Principio Precautorio, tomando en cuenta que: 1. La exposición al glifosato se da por nuestra dieta, agua y ambiente 2.

La exposición más elevada se observa en trabajadores-operadores de agroquímicos 3. No existe nivel seguro de glifosato, conforme a estudios científicos independientes 4. Estudios con glifosato muestran que puede comportarse como disruptor endócrino 5. El glifosato puede incidir negativamente en la fertilidad y la gestación 6. El glifosato ha sido asociado como componente de la multicausal Enfermedad Renal Ocupacional que afecta agricultores de las tierras bajas del Pacífico Seco de Costa Rica, dedicados al cultivo de caña, cuyo cultivo se trata con aspersiones terrestres y aéreas del herbicida. 7. El glifosato ha sido asociado con aumento de incidencia de varios tipos de cáncer en mamíferos de laboratorio y con LNH en particular en seres humanos en estudios epidemiológicos y metaanálisis de trabajadores y comunidades rurales expuestas a sus formulaciones 8. El glifosato ha sido clasificado por la IARC como "probablemente carcinógeno", grupo 2A (Mosheim, D. 2018).

### 3. Alternativas para el manejo de malezas sin herbicidas

El manejo de malezas es uno de los principales retos en la actividad agrícola, especialmente en los países tropicales donde los cultivos son

colonizados constantemente por diferentes especies de arvenses a lo largo del año. En algunos casos extremos, cuando las malezas no se controlan durante varios ciclos productivos, estas plantas pueden provocar la pérdida completa del cultivo, pues se permite que el banco de semillas crezca con el consecuente aumento en el número de malezas año con año. Por esta razón es que los herbicidas son uno de los grupos de plaguicidas de mayor uso a nivel nacional y mundial.

Sin embargo, para devolver la fertilidad a largo plazo del suelo y otros servicios ecosistémicos que se necesitan para producir, así como mejorar la salud humana y ambiental, es necesario reducir y eventualmente eliminar el uso de herbicidas y otros plaguicidas peligrosos. Se debe de invertir en investigación y aplicación de sistemas de producción agrícolas sostenibles para formar modelos de producción ecológica y económicamente viables, que puedan revertir el daño causado por la constante aplicación de herbicidas y otros plaguicidas en nuestros campos. La producción agrícola es posible realizarla exitosamente reduciendo o aún eliminando por completo el uso de herbicidas; ya se está haciendo en muchas partes el mundo, sin convertirla necesariamente

en una producción completamente orgánica.

Existen muchos métodos para el manejo de malezas que se han practicado antiguamente, algunos olvidados, pero que retomados y adaptados a las condiciones actuales de producción, pueden ofrecer la opción de reducir o eliminar el uso de herbicidas en la producción de alimentos sin comprometer los recursos para las generaciones futuras.

### 3.1 Manejo preventivo de malezas

Uno de los aspectos fundamentales para evitar tener que hacer aplicaciones de herbicidas, es la prevención del ingreso de semillas o propágulos de malezas en los campos. Este ingreso se puede dar de varias maneras y es tarea del productor buscar la forma de evitarlo. A continuación, se enumeran algunas formas de ingreso de semillas de malezas a las

regiones, fincas o lotes:

**3.1.1 Semilla de buena calidad:** se debe de asegurar que la semilla, tanto de cultivos como de coberturas u otro tipo de semillas o propágulos que ingresen al campo, se haya cosechado de campos limpios, tenga una calidad comprobada y si se puede, que sea certificada. Esto para asegurarse que no contenga semillas contaminantes de malezas u otras especies de plantas no deseadas que puedan llegar a sembrarse. Algunas malezas se han dispersado por medio de la semilla, lo que ha generado inconvenientes en los sistemas de producción y llevado al uso de herbicidas.

**3.1.2 Abonos orgánicos libres de malezas:** se supone que un abono orgánico o compost bien elaborado, se encuentra libre de semillas o de propágulos (trozos de tallos, de tubérculos, entre otros) de malezas. Se debe de conocer el origen de estos

para asegurarse calidad o, si se fabrican en la misma finca, hacerlo de forma correcta para que durante el proceso de composteo, la temperatura que alcance el sustrato sea suficiente para destruir las semillas o propágulos.

**3.1.3 Semilleros o almácigos libres de malezas:** de igual forma, se debe de corroborar la calidad de los almácigos y transplantes para evita el ingreso a la finca de plantas sembradas en sustratos contaminados. En Costa Rica es muy común el uso de la granza de arroz como sustrato para semilleros y almácigos, pero esta puede venir contaminada con semillas de malezas de zonas arroceras. La granza es un excelente sustrato para combinar con suelo y preparar almácigos pero se debe de hacer un tratamiento previo a su uso, que puede incluir solarización, temperaturas altas (cocinarla o carbonizarla).



Figura 4:  
Almácigo de banano con granza de arroz no tratada y llanta de tractor con restos de suelo de otro lugar.

**3.1.4 Ingreso de ganado:** cuando se compra ganado de otras fincas o regiones, al ingresarlo a la finca, este se debe de mantener en cuarentena por 48 horas en un corral donde logre evacuar, ya que muchas veces, los animales consumen pasto con partes de malezas con semillas que, al pasar por el tracto digestivo, logran germinar en las deposiciones. Así se evita la importación de malezas de otras regiones.

**3.1.5 Ingreso de equipo y maquinaria agrícola:** cuando se ingresan equipos para preparar suelo, sembradoras o cosechadoras, se debe de asegurar que vengán limpios de residuos de suelo. Es muy común que en sus guardabarros o llantas, se acumule suelo que puede contener semillas de malezas de otras fincas (figura 4). Los equipos, incluso cuando se pasen de lote a lote dentro de la misma finca, se deben de lavar bien con agua a presión para desprender los cúmulos de barro; luego esa tierra desprendida debe de manejarse adecuadamente para evitar dispersión de las semillas que pueda contener.

**3.1.6 Ingreso de agua de riego:** el ingreso de agua de riego, especialmente cuando es por gravedad por medio de canales, puede arras-

trar semillas de malezas de otras partes. Es imprescindible colocar pascones o filtros que eviten el ingreso de semillas, en especial aquellas que tienen la capacidad de flotar, como *Rottboellia cochinchinensis*. También es importante mantener controladas las malezas en los bordes y taludes de los canales, evitando que estas florezcan y produzcan semillas que puedan ser diseminadas por el agua.

### 3.2 Manejo cultural

Las prácticas culturales para el manejo de malezas, pretenden manipular el ambiente para darle ventaja al cultivo, buscando una mejor competitividad para que este pueda desarrollarse mejor, más rápido y evitarse así mayores periodos de competencia. Estas son compatibles con las técnicas y estrategias de manejo integrado de plagas y generalmente son ambientalmente seguras; son más accesibles a los agricultores de bajos recursos y debe permitirles continuar siendo los principales productores de una significativa proporción de los cultivos alimenticios básicos en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Con el manejo cultural se busca ofrecer prácticas como las siguientes.

#### 3.2.1 Cultivares de rápi-

**do crecimiento:** se busca sembrar y mantener cultivos con semillas que tengan alto porcentaje de germinación, que sean de rápida germinación, con buen vigor, tolerancia al medio y otras características que le permitan al cultivo crecer rápido y “cerrar” el paso de la luz hacia la superficie del suelo donde se encuentra la mayoría de semillas y plántulas de malezas.

**3.2.2 Siembra por almácigos:** la siembra de plántulas en vez de la siembra directa de semillas, es una táctica que “adelanta” al cultivo, va a estar más desarrollado, mientras que las malezas no han emergido aún del suelo preparado. La idea es preparar el terreno, eliminar la maleza presente y plantar el almácigo, que ha permanecido creciendo en un vivero por varios días o semanas.

Es una forma de darle mayor competitividad al cultivo pues reduce significativamente la competencia inicial de las malezas. Así, el cultivo puede crecer mejor y llegar a cerrar más rápido, disminuyendo los periodos críticos de competencia. Es una táctica que cada día se practica en más cultivos y es muy común en melón, sandía, tomate, chile, cebolla, muchas otras hortalizas y otros cultivos perennes

como café, cítricos, palma aceitera, frutales y plantas ornamentales.

**3.2.3 Fertilización y riego localizados:** se debe buscar darle ventaja al cultivo mediante la aplicación del riego y del fertilizante de una forma localizada cercana al cultivo y no de forma generalizada en el terreno. Esta práctica le daría mayor ventaja competitiva al cultivo de obtener agua y nutrientes por encima de las malezas. Así, es preferible un riego por goteo dirigido a la planta, cuando existe el recurso, antes que un riego por aspersión que le ofrece agua al cultivo y a la maleza (figura 5).

**3.2.4 Aumentar la densidad de siembra:** aumentando la cobertura del cultivo se busca restarle capacidad de competencia a las malezas. Se busca un cierre más rápido del cultivo y esta práctica es importante sobre todo

en malezas susceptibles a la sombra, como el *Cyperus rotundus*. El aumento de la densidad del cultivo no implica necesariamente una distancia de siembra menor entre plantas, ya que esto puede ser contraproducente para el cultivo; esto se puede lograr con distancias menores entre surcos, camas de siembra más o menos anchas, disposición de plantas en "tres bolillo" en vez de hileras, por ejemplo. El aumento de las densidades de los cultivos a través de la reducción del espaciamiento entre surcos y dentro de los surcos o a través del intercalamiento de cultivos, reduce efectivamente los nichos disponibles para las malezas.

**3.2.5 Rotación de cultivos:** la rotación de cultivos es una práctica muy importante para darle mayor competitividad al cultivo y para obligar al cambio de

prácticas de manejo de malezas al cambiar el tipo de cultivo. Esta incrementa el rendimiento en la mayoría de cultivos y mejora considerablemente cuando se rotan cultivos de familias botánicas diferentes, o con anatomías diferentes, como una planta de hoja ancha y luego una de hoja angosta, o una planta de raíz con una de hoja. Para un cultivo determinado, existen malezas, además de plagas y enfermedades, que crecen y se reproducen particularmente bien en ese cultivo, o al menos no se controlan bien. Si el mismo cultivo es sembrado año tras año en el mismo campo, las poblaciones de esas plagas se van acumulando hasta que se vuelven inmanejables. Al hacer rotación, las malezas que interferían en un cultivo se controlaban con el cultivo siguiente, así ninguna maleza dominaba ni se volvía

problemática. Por ejemplo, una buena rotación es maíz - frijol, arroz - melón, papa - repollo, culantro - zanahoria, entre muchos otros.

**3.2.6 Cultivos mixtos:** el objetivo de los cultivos mixtos es hacer una rotación de cultivos en el mismo momento y lugar. Así, las plantas se complementan, ayudan al control de malezas al producir una cobertura vegetal en el suelo que impide el buen desarrollo de las malezas y además, es un excelente método de control de plagas y enfermedades.

Igualmente que con la rotación, se busca que estos cultivos sean lo más diferentes posibles, tanto en sus necesidades nutricionales, como estructura, tamaño, condición de crecimiento y otras. Es muy recomendable, por ejemplo, un cultivo de porte alto con otro de porte bajo, que se pueden sembrar en diferentes tiempos para evitar una competencia por luz; o una planta leguminosa con una gramínea, o intercalar hileras de una planta aromática con el cultivo, o hileras de plantas nectaríferas con el cultivo.

Tradicionalmente nuestros campesinos han usado esta táctica y han visto muy buenos resultados, ya que permite producir en el mismo terreno y en el mismo tiempo, varios cultivos a la

vez, disminuyendo las pérdidas por plagas, por condiciones climáticas o por bajos precios en el mercado. Es muy común el cultivo mixto de maíz y ayote, plátano y frijol, café y tomate; y

algunos agricultores están probando con cultivos anuales durante los primeros años de cultivos perennes, como frijol y palma africana, café y frijol, yuca y maíz, entre otros.



Figura 6. Ejemplos de cultivos mixtos: maíz+frijol+ayote (arriba) y papaya+chile (abajo).



Figura 5. Riego por aspersión (izq.) y riego por goteo (derecha).

### 3.3 Manejo físico

El manejo físico hace uso de tácticas que buscan eliminar o reducir el crecimiento de las malezas. Generalmente se aplican antes de la siembra del cultivo o en áreas no agrícolas. Estas pueden ser el uso de agua caliente, vapor de agua o del flameo. Las coberturas muertas se pueden incluir dentro de una táctica física, pero se van a desarrollar en la parte de coberturas.

Las plantas al ser expuestas al control térmico, tienen distintas maneras de responder al tratamiento, algunas presentan marchitamiento instantáneo, otras al presionarlas quedan marcadas, se dan cambios de coloración en las hojas y cerca de las 24 horas después se nota claramente el follaje seco, completando el desecado de 2 a 4 días después del tratamiento. Para este método de control existen diferentes tipos de tecnologías que se logran adaptar a la disponibilidad de los productores, y aplicable en diversidad de cultivos, especialmente en aquellos en que la disposición del cultivo se adapta a la entrada de maquinaria de diferentes dimensiones (Uliarte et al., 2011).

**3.3.1 Solarización:** la solarización es el proceso de cubrir herméticamente el

suelo húmedo con plástico durante un período de tiempo tal, que permita capturar la energía solar que llega al suelo y así elevar la temperatura por encima de umbrales que provoquen la muerte de semillas de malezas. Cabe destacar que el resultado de la solarización dependerá de factores múltiples como la temperatura, la intensidad lumínica, tiempo de exposición, horas luz, nivel de humedad, así como el color de la cobertura que se utilice.

Esta técnica presenta un potencial en situaciones de producción intensiva debido a su carácter no contaminante y la posibilidad de combinación con otros métodos de control. El grupo de malezas más sensibles al aumento de temperatura son las especies anuales de reproducción sexual por semilla; con este método existen reportes de controles de hasta un 95% en condiciones de invernaderos y con altas temperaturas ambientales (Rodríguez, 2012).

**3.3.2 Vapor o agua caliente:** es una práctica que busca eliminar las malezas por medio de una quema con calor, al aplicar con equipo especializado, una aspersión de agua caliente o vapor de agua. Esta técnica tiene mejor resultado si se aplica a plantas peque-

ñas, preferiblemente anuales, sin que hayan tenido el tiempo suficiente para generar órganos de reserva.

**3.3.3 Flameo:** la aplicación de una llama proveniente de la quema de gas es una técnica usada en regiones donde el agua es escasa. Se usa de la misma forma que el vapor de agua y preferiblemente en cultivos perennes para evitar el daño por quema. Se debe de aplicar con cuidado para evitar incendios o daño en el perfil superior del suelo. Básicamente consiste en exponer las malezas al calor producido por la llama.

Se ha determinado que la viabilidad de semillas de malezas se pierde cuando se supera los 60° C, por lo que la aplicación de esta técnica funciona de manera preventiva y evita la emergencia de gran cantidad de semillas. Sin embargo, las altas temperaturas también pueden afectar la vida de algunos microorganismos benéficos, por lo que en estas situaciones, se recomienda la adición de microorganismos para así compensar sus niveles en el suelo (Castillo-Luna y Gómez-Gómez, 2016).

El flameo es una herramienta más que permite reducir la cantidad de herbicidas en cultivos y en zonas verdes. En el caso de



Figura 7. Flameador manual (izq.). Tractor equipado con flameadores (der.), tomado de Uliarte et al., (2011).

sistemas productivos donde los herbicidas están prohibidos, el flameo es una buena opción. El uso de flameo se da principalmente en la agricultura orgánica y en los cultivos que se encuentran cerca de cuerpos de agua como quebradas y nacientes, ya que en ambos casos los químicos están prohibidos. A nivel industrial su uso es complicado debido a las grandes extensiones que se deben cubrir, sin embargo, existen equipos grandes acoplados a tractores en Estados Unidos que son utilizados en el cultivo de maíz.

### 3.3.4 Control con electricidad

Recientemente han llegado al mercado equipos adaptables a tractores con generadores eléctricos que aplican electricidad a las

malezas que cierran el circuito eléctrico, y al disiparse la energía en ellas se rompen vasos conductores y células de tallos y raíces, muriendo por quema (Figura 8). Este es un efecto similar a los herbicidas sistémicos y principalmente debe de usarse para malezas pequeñas, o en postemergencia temprana.



Figura 8. Controlador eléctrico de malezas. Foto tomada de Agrolatam.com.

**3.4 Manejo mecánico**

El manejo mecánico utiliza herramientas y equipos mecánicos para el control de malezas, que van desde herramientas básicas manuales, como machete y azadón, hasta tractores equipados con rastras.

**3.4.1 Herramientas manuales:** históricamente las malezas se controlaban con cuchillo, azadón y pala antes de la aparición de los herbicidas químicos. Aún tienen su lugar y son ampliamente utilizadas en explotaciones pequeñas, en ciertas situaciones en sistemas de producción grandes y en cultivos donde el mercado exige producciones sin sustancias tóxicas.

**3.4.2 Equipos motorizados:** estos equipos son movidos por motores y pueden

ir desde una motoguadaña (figura 10) hasta equipos acoplados a tractores. Tienen la ventaja de que pueden cubrir grandes extensiones de terreno en poco tiempo, no son tan contaminantes al medio como los herbicidas pero pueden provocar efectos negativos sobre las características físicas del suelo que reducen su capacidad de reciclar nutrientes. Por esta razón, Harrison (1996) nos dice que “cuando es necesario cultivar, para airear un suelo compactado, hay que usar técnicas mínimas de cultivo. No excavar, no arar, cortar las hierbas en lugar de arrancárlas. Así se mantienen las plantas creciendo en el suelo todo el tiempo y el suelo se remueve lo menos posible.

Así mismo, arar o rastrear el suelo son prácticas que disturbaban las capas superiores del suelo, el perfil donde se encuentran la mayoría de las semillas y propágulos de malezas, lo que provoca cambios en el banco de semillas aumentando la germinación de las mismas. Esto se puede aprovechar en ciertas circunstancias para controlar esa primera nacencia de malezas.

Cuando se utilizan motoguadañas en cultivos perennes como café, cítricos u otros tipos de árboles, se puede usar un aditamento alrededor de la cuchilla o del hilo, para que éste no llegue a causar daño en el tronco. Un simple aro metálico acoplado al equipo será suficiente (figura 10).



Figura 9. Deshierbadores manuales: cultivador y azadón.



Figura 10. Control de malezas con motoguadaña e implemento para evitar daño en troncos de árboles.

**3.4.2.1 Rastras:** se utilizan para preparar y afinar el terreno antes de la siembra, pero se pueden usar para hacer un control de

plantas que hayan germinado recientemente. Esto se conoce como agotamiento del banco de semillas del suelo, que en cul-

tivos extensivos se pueden repetir varias veces al año y la germinación se puede estimular por medio de la aplicación de riego.



Figura 11. Control de malezas con rastra en presiembra.

**3.4.2.2 Chapeadoras:** Existen ciertos equipos adaptados a cosechadoras mecánicas cuyo objetivo es evitar que las semillas de malezas cosechadas junto con los granos, queden en el campo y sean fuente de plantas para el ciclo siguiente. Es especialmente usado para moler o destruir semillas de malezas resistentes a glifosato durante la cosecha de granos como maíz, soya, arroz, algodón, entre otros.

**3.4.2.3 Destructor de semillas**

**4. Coberturas**

Las coberturas sirven para bloquear de forma física la germinación y el crecimiento de malezas para así eliminar o reducir el uso de herbicidas en ciertos cultivos. Estas pueden ser coberturas muertas o vivas.

**4.1 Coberturas muertas**

Las coberturas muertas son aquellas en las que se utilizan materiales que van desde residuos de cosechas o de procesos industriales,

como virutas de madera o fibras de desecho, hasta plástico o láminas prensadas. En cierta literatura se les conoce como "mulch".

**4.1.1 Residuos de cosechas:** en varios cultivos se producen residuos especialmente en su cosecha o en

podas que se podrían utilizar como cobertura que además de servir para manejar malezas, aporta materia orgánica al suelo y se evitan gastos e inconvenientes en la disposición de desechos. Antiguamente la broza del café, el virote de bano o la fibra de palma, eran

materiales o residuos que causaban problemas y costos para su disposición final. Pero en años recientes, se ha visto la utilidad de estos materiales y su capacidad como fuente para producir compost o usarse como coberturas tipo acolchado.



Figura 12. Control de malezas con chapeadoras mecánicas.



Figura 14. Residuos de cosechas usados como coberturas muertas. Pinzote de bano (izq.) y hojas de palma aceitera (der.).



Figura 13. Destructor de semillas de Harrington (tomada de [www.producer.com](http://www.producer.com)) y molidor de residuos de cosecha (Tomada de [www.fwi.co.uk](http://www.fwi.co.uk)).



Figura 15. Residuos de cosechas usados como coberturas muertas. Fibra de palma aceitera peletizada (izq.) y tallos de maíz (der.).

Recientemente se ha tratado de mejorar los residuos de cosechas para hacerlos más aplicables como coberturas. Un ejemplo se da en la industria de la palma aceitera, donde los residuos de la fibra se pueden peletizar para formar agregados más fácilmente manejables; otras iniciativas buscan elaborar “alfombras” de fibras para usarse como coberturas. Estas coberturas ofrecen otros

beneficios adicionales al de control de malezas: protegen a los microorganismos del suelo por fluctuaciones de temperatura, evitan que la superficie del suelo pierda agua y aumentan la materia orgánica al descomponerse.

**4.1.2 Cubiertas plásticas:** el plástico puede ser un gran aliado para el control de malezas en ciertos cultivos, ya sea de forma pre-

siembra o acompañándolo. En algunas situaciones se utiliza antes de la siembra para eliminar parte de las semillas o plántulas que pueden germinar en la superficie del suelo (solarización) para luego de algunos días o semanas plantar el cultivo. También se puede usar para cubrir el suelo al momento de la siembra del cultivo, como sucede con melón, fresa, piña, palma, entre otros.



Figura 16. Coberturas plásticas usadas en melón, palma aceitera, piña y presiembra de hortalizas, Costa Rica.

**4.2 Coberturas vivas o cultivos de cobertura:** son plantas que se siembran con el fin de ayudar al cultivo principal o siguiente y mejorar muchas características del suelo que ayudarán a aumentar la fertilidad, la retención y disponibilidad de nutrientes y de agua, servir como protector o amortiguador del suelo contra altas radiaciones solares, temperatura, golpe de lluvia, erosión por escorrentía y otros factores que pueden dañar la estructura y la microfauna del suelo.

Las coberturas se reconocen como un importantísimo aporte en el ciclo de la materia orgánica y la fertilidad del suelo: “Las plantas cultivadas deben tener un mantillo vegetal muerto o vivo alrededor de ellas. Hay que escoger ciertos mantillos vivos por sus altos niveles de precursor de etileno. De esa manera los nutrientes serán reciclados, se estimulará la actividad microbial” (Harrison 1996).

También uno de los objetivos principales de las coberturas es suprimir la germinación y crecimiento de plantas de malezas por medio de la disminución del ingreso de luz a la superficie del suelo. Este tipo de control de malezas se puede aprovechar si se incluyen plantas que, por ejemplo, fi-

jen nutrientes de la atmósfera al suelo. Las plantas de la familia Leguminosa (Fabaceae) son importantes pues fijan nitrógeno atmosférico al suelo a través de bacterias radiculares. Una vez que las plantas renuevan raíces u hojas, o incluso que la planta muera, sus restos ricos en nitrógeno vienen a enriquecer el suelo y ser fuente de alimento para los microbios que descomponen la materia orgánica y la hacen biológi-

camente disponible para las plantas.

En Costa Rica hay valiosa historia en el cultivo de palma aceitera con el uso de Kudzú (*Pueraria phaseoloides*), la cual se ha utilizado ampliamente en el manejo de malezas (figura 17). Este cultivo es uno de los de mayor área en el país y de los mayores consumidores de glifosato, pues este herbicida representa cerca del 90% del total de plaguicidas usados en palma.



Figura 17. Cobertura de Kudzú y Mucuna en palma africana.

Más recientemente, se han utilizado especies como *Mucuna* sp, *Stylosobium* sp, *Calopogonium* sp, *Vigna* sp, *Arachis* sp, *Crotalaria* sp, *Desmodium* sp entre otras.

En adición, estas plantas pueden ser fuente de alimento como néctar, propóleo y polen para ciertos polinizadores e insectos benéficos, que van a servir también como controladores de ciertas plagas,

además de aumentar la biodiversidad y mejorar el equilibrio natural.

También se le ha dado mayor importancia al uso de coberturas nativas por medio del manejo selectivo de especies de porte rastrero, para buscar darle competitividad a la planta y que logre surgir y cubrir el suelo. Se han utilizado plantas diversas, especialmente en cultivos perennes como café, cítricos,

pejibaye, palma aceitera, banano y plátano, entre otros, como *Syngonium* sp, *Geophila* sp, *Drymaria* sp, *Wedelia trilobata*, *Portulaca oleraceae*, *Pilea* sp, e incluso especies de poaceas como *Oplismenus burmanni* y algunas *Brachiarias* (*Urochloa* spp).

Se deben estimular el uso de policoberturas (varias especies mezcladas) para aumentar la biodiversidad del agrosistema.



Figura 18. La planta *Geophila macropoda* como cobertura en banano y sus frutos.



Figura 19. Uso de coberturas en el cultivo de café. *Crotalaria* sp (izq.) y *Brachiaria* sp (der.).

#### 4.3 Arvenses que enriquecen el agroecosistema

Antiguamente se creía que siempre se debía de mantener el suelo libre de malezas y sobre todo antes de una fertilización. Esta afirmación ya no es común escucharla, sobre todo debido al conocimiento adquirido sobre el papel que cumplen las arvenses dentro de los agroecosistemas, sin enfocarse solamente en la interferencia que pueden tener con los cultivos.

Las arvenses se pueden considerar un “fertilizante de lenta liberación”, especialmente en cultivos de ladera o en zonas de altas precipitaciones. Cuando un productor utiliza un fertilizante químico en su cultivo, este tiene la característica de ser altamente soluble en agua, por ende, tiende a ser arrastrado por la lluvia, máxime en condiciones de terrenos en pendiente. Aquí es donde las arvenses entran a jugar un papel importantísimo: ese fertilizante que normalmente se lavaría y arrastraría junto con la escorrentía del agua hacia canales, quebradas y ríos, sería absorbido o retenido por las plantas que crecen junto al cultivo. Las arvenses usarían ese fertilizante (no accesible al cultivo) y luego lo regresarían al suelo en for-

ma biológica cuando se les practique un control o cuando la planta cumpla su ciclo.

Por lo anterior, no es necesario el control de malezas en todas las áreas del terreno. Se deben de dejar zonas como bordes de cultivo, cercas, canales de drenaje y entrecalles, con cierta población de arvenses que entre otros beneficios, ayuden a mantener al suelo y a su fertilidad.

Otra ventaja que pueden ofrecer estas plantas, ade-

más del citado arriba, es de servir como fuente de alimento a entomofauna benéfica como polinizadores e insectos parasitoides. Se sabe que muchas plantas, algunas llamadas malezas, producen néctar, polen y propóleos, ya sea en sus flores o en órganos extraflorales, que sirven de alimento a estos insectos y otros organismos. Estas plantas son llamadas nectaríferas y vienen a enriquecer el ecosistema agrícola (figura 20).

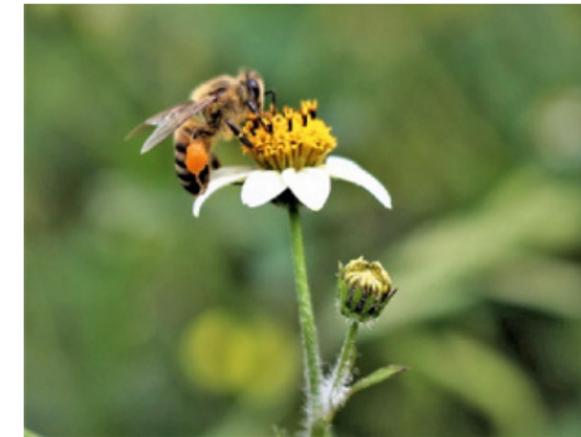


Figura 20. Polinizadores sobre plantas de *Bidens pilosa* y *Merremia quinquefolia*.



**5 Control biológico:** el propósito del control biológico de malezas no es erradicar la maleza sino más bien reducir su vigor para que las plantas deseables o cultivos puedan subsistir. Incluye el uso de organismos vivos como insectos, nematodos, bacterias, hongos o animales como ganado, aves, peces entre otros, pero la mayoría de controladores biológicos de malezas son organismos herbívoros, principalmente insectos (van Driesche, Hoddle y Center, 2007), los cuales poseen la característica de ser muy específicos a la especie de maleza a controlar. El control biológico es una táctica autosostenible, equilibrada que no necesita de insumos o costos extra, pero requiere de tiempo para lograr ese equilibrio por lo que su efecto no es inmediato.

Existen varias formas de aplicar un control biológico: el control clásico, donde un agente exótico es introducido para controlar una maleza nueva o exótica; el control aumentativo, el cual puede ser inundativo (grandes cantidades) o inoculativo; y el conservacionista, donde se manipula el ambiente para beneficiar la acción natural del agente de control. El control biológico clásico debe de ser sujeto a proce-



Figura 21. Planta de *Sida* sp atacada por insectos.

dimientos cuarentenarios muy estrictos, pues significa la introducción de nuevos organismos vivos exóticos a una región o un país, por lo que se debe asegurar que ese organismo sea muy específico para la maleza a controlar y no ponga en peligro la biodiversidad o cause conflictos de interés con otro tipo de plantas o actividades, sean plantas cultivadas o de la diversidad natural.

#### 5.1 Uso de insectos:

La mayoría de controladores de malezas han sido insectos, debido a su alta diversidad de especies, tamaño, alto grado de especialización de hospederos y su potencial para el crecimiento rápido de la población. Uno de los ejemplos más famosos es el lepidóptero *Cactoblastis cactorum*, una

larva pyralidae que controló miles de hectáreas del cactus *Opuntia* spp, introducido a un territorio sin enemigos naturales (Australia); también las cochinillas del nopal fueron usadas para este mismo tipo de cactus en Australia y Sudáfrica.

Otros insectos usados para el control de malezas han sido crisomélidos, curculionidos, como *Neohydronomus affinis* que controló la Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) en varios países; *Neochetina eichorniae* y *N. bruchi* que controló otra planta acuática (*Eichornia crassipes*, Lirio de agua) en muchos países; o *Stenopelmus rufinansus* que casi ha eliminado al helecho flotante originario de Sudáfrica *Azolla filiculoides*, de Estados Unidos, entre muchos otros ejemplos (van Driesche, Hoddle y Center, 2007).

#### 5.2 Uso de patógenos

Varios han sido los hongos usados para controlar malezas, principalmente royas y tizones. Cepas de la roya *Puccinia chondrilla* fueron llevadas de Europa a Australia y Canadá donde controlaron biotipos de *Chondrilla juncea*. También plantas de mora (*Rubus* sp) invasoras no cultivadas han sido controladas con la roya nativa de Europa *Prhagmidium violaceum* en Chile y Australia. El tizón blanco *Entyloma ageratinae* y *Cersosporela ageratinae* fueron introducidos a Hawái donde controlaron exitosamente a *Ageratina riparia* (van Driesche, Hoddle y Center, 2007).

En Costa Rica se hizo investigación para el control de *Rottboellia cochinchinensis* con el carbón *Sporisorium ophiuri* el cual tiene potencial de control dependiendo de condiciones ambientales y elementos adicionales de estrés que pueda sufrir la planta. Un listado de patógenos nativos identificados en América Latina para el control de malezas lo presenta Sánchez y Zúñiga (1999) en el libro Control Biológico de *Rottboellia cochinchinensis*.

Un ejemplo muy exitoso a nivel de Costa Rica ha sido el control de la planta conocida como Lotería o Sainillo (*Dieffenbachia* spp), cuyo principal daño que provoca es

indirecto, al resultar afectados los operarios de corta de fruta, recolectores de coyol y los encargados de limpieza manual, fundamentalmente al provocar accidentes laborales, ya que su savia es irritante. Para el control de esta planta se utilizan bacterias nativas (*Pseudomonas* sp) en forma de bioherbicidas, que son organismos fitopatóge-

nos que se liberan de manera "inundativa" en altas densidades, los cuales, como los herbicidas sintéticos, requieren de aplicarse cada vez que sea necesario. La bacteria se encontró en Sainillo tratado con glifosato, se colectó y se maceraron los tallos infectados, se incubó en melaza y luego se aplicó (Soto, A. Comunicación personal).



Figura 22. Daños en *Dieffenbachia* spp por *Pseudomonas* sp.

Se debe de investigar en el uso de algún tipo de elemento que provoque heridas en la planta, para que la bacteria tenga más oportunidad de ingresar, o aplicar la bacteria sobre plantas mecánicamente dañadas. Al reducir la dosis de herbicidas sintéticos y ser específico, el bioherbicida promueve la aparición rápida de una flora de sustitución que ocupa los espacios que la maleza dejó, dándole

persistencia al tratamiento.

### 5.3 Uso de animales

Diversos animales de ganadería menor y mayor se pueden usar para controlar malezas en diversas situaciones y así evitar el uso de herbicidas. Desde ganado vacuno para eliminar rastrojos y restos de malezas de áreas cosechadas, hasta ganado menor y aves de corral que hacen un control no selectivo de malezas (figura 23).

Los caprinos y ovinos se han utilizado para control de malezas herbáceas y arbustivas principalmente en cultivos perennes, incluso se han adaptado ciertos artefactos para proteger el cultivo de su consumo. En la figura 24 se observa una especie de bozal discriminador, que permite que el animal consuma la maleza del suelo pero evita que ramonee el cultivo o produzca daño al tronco.



Figura 23. Caprinos y aves controlando malezas en hortalizas y en maíz.

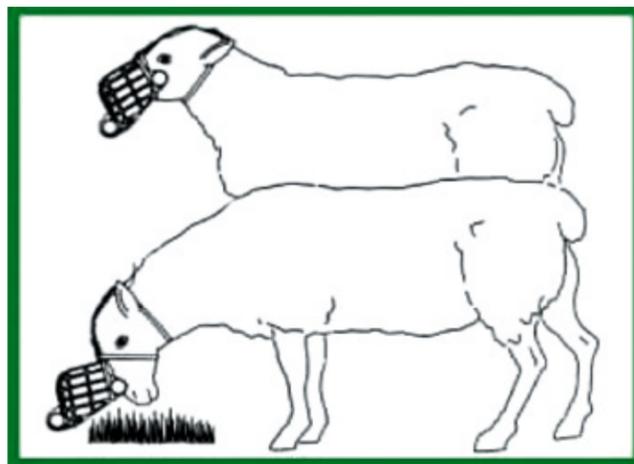


Figura 24. Artefactos tipo bozal para impedir el ramoneo de ganado menor en cultivos perennes.

En algunos lugares se han utilizado aves, específicamente gansos, para el control de malezas en café y frijol, ya que estos tienen preferencias por plantas de hoja angosta. Otros ejemplos exitosos de esta técnica se dan en el Sur de Asia, donde se utilizan patos en arrozales cosechados para, no solo control de plantas y semillas de malezas, sino de otro tipo de organismos que se podrían convertir en plaga (figura 25).

El control de malezas acuáticas, como las que crecen en canales de riego o drenaje, reservorios de agua e incluso lagos, es una tarea muy costosa (figura 26), para esto se ha utilizado la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) en diversos países. En Costa Rica este pez se introdujo en los años 90 para el control de *Hydrilla verticillata* en los canales de riego de fincas arroceras de Guanacaste. La carpa herbívora constituye una alternativa para el control de *Hydrilla*, sobre todo si se usa como parte de un manejo integrado. Un combate inicial ya sea físico o químico con el fin de reducir la población inicial de *Hydrilla* permitiría que densidades cercanas a 300 kg pudieran ser usadas con éxito (Rojas y Agüero 1996).

El riesgo de introducir pe-

ces generalistas para causar daños a plantas es alto para los peces nativos, por lo que en algunas instancias se usan híbridos estériles o triploides para minimizar el riesgo de establecer poblaciones reproductivas del pez introducido (van Driessche, Hoddle y Center, 2007).

### 6 Herbicidas naturales

La alelopatía es una técnica natural y ecológica que puede sustituir de cierta manera el excesivo uso de herbicidas de síntesis química, ya que cuentan con potencial para ser una herramienta única para el control de malas hierbas.



Figura 25. Uso de patos para control de plagas en arrozales cosechados (Tomada de facebook.com/NgowHaHeng/) y gallineros móviles (Tomada de www.infocampo.com.ar) para la misma función.

Los químicos alelopáticos pueden persistir en el suelo, estos pueden ser más biodegradables que los herbicidas, sin embargo, puede resultar nocivo en especies que no sean objetivo, por lo que exige de investigaciones ante su uso; el uso de dichas sustancias puede ser directamente mediante la interacción de plantas, o por el uso de aleloquímicos como herbicidas naturales (Khan y Ishaf, 2015).

Algunas plantas alelopáticas que segregan sustancias que inhiben el crecimiento de otras a su alrededor, se encuentran: *Salvia reflexa*, *Eucalyptus globulus*, *Brassica juncea*, (Clarimón y Cortés, 2016).

Entre las sustancias alelopáticas más conocidas están los ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides, alcaloides y quinonas; muchas sustancias relacionadas con la actividad alelopática se asocian con metabolitos secundarios. Mediante la investigación en aleloquímicos es posible desarrollar cultivares con ese potencial. Este carácter en los cultivares puede ser aplicado de dos maneras: seleccionando la variedad adecuada e incorporarle el carácter alelopático y así trabajar directamente con un cultivar con dichas características, o bien la



Figura 26. Control mecánico de *Hydrilla sp* y carpa herbívora.

siembra directa del cultivo luego de haber tenido especie con estas características (Urteaga, 2005). Otros compuestos como el aceite mineral funcionan como coadyudante agrícola ya que mejora la efectividad de los herbicidas al modificar la estructura cerosa de las hojas malezas, ya que resulta una aspersión más uniforme logrando la penetración

más rápida de los herbicidas.

En un estudio se realizaron pruebas con herbicidas naturales alternativos al glifosato, entre estos fueron el vinagre, urea, cloruro de potasio que se compraron con testigos y aplicaciones de glifosato, sin embargo, ninguno de ellos fue superior a la eficacia mostrada por el glifosato. A pesar de

que ninguno de los herbicidas naturales superó un control superior a 70%, esto puede ser debido a que se necesitan al menos 5 tratamientos para conseguir un control mayor de la vegetación, además de tomar en cuenta otros aspectos como la aplicación de estos productos cuando la radiación solar es alta, incluso el uso de coadyuvantes puede hacer que el tratamiento sea más eficaz. Por lo que, a pesar de presentar una notoria diferencia comparada con el glifosato en cuanto a su eficacia, esta puede representar una alternativa más ecológica y menos tóxica si se realiza de manera oportuna y complementaria con otros productos (Roig et al., 2017).

En Costa Rica se ha ensayado en cafetales el uso de nitrato de amonio, aplicado en solución de 750 g/l. Este necrosa a las arvenses, se biosintetiza un fertilizante nitrogenado de liberación lenta, tiene un costo casi de cero (como herbicida), y está permitido en agricultura orgánica (Adolfo Soto, comunicación personal).

También se han tenido algunas experiencias exitosas con el uso de algunos extractos naturales y aceites esenciales de varias plantas, pero todavía se requiere de afinar la técnica para de-

terminar ámbito de acción, dosis, forma y momento de aplicación. Agüero et al. (2017) utilizaron sustancias como el D-limoneno, extracto de pino y de romero, a dosis relativamente altas (27, 5,25 y 2,4 kg i.a./ha, respectivamente) aplicadas en postemergencia temprana a plantas de *Bidens pilosa*, *Amaranthus sp*, *Echinochloa colona* y *Rotbboellia cochinchinensis* y encontraron que las sustancias ejercieron un control eficaz y más rápido que un herbicida sintético, pero con cierta diferencia de eficacia entre especies; el limoneno controló todas las especies, el extracto de pino ejerció control sobre *Amaranthus sp.*, *E. colona* y *R. cochinchinensis*, y el extracto de tomillo el *Amaranthus sp.* Concluyeron que estos herbicidas naturales podrían utilizarse como parte de programas de manejo integrado de arvenses.

El vinagre, que posee cerca de un 4% de ácido acético, posee acción como desecante natural de las plantas (Radhakrishnan et al., 2003), y cumple la misma función que un herbicida de contacto, destruyendo la membrana celular, lo que resulta en secamiento de los tejidos vegetales, especialmente de malezas de hoja ancha en aplicaciones postempranas. En dosis de

120 l/ha, proporcionó una desecación del 99.33 % de la avena negra, planta utilizada como cobertura, no alteró el pH en el suelo ni causó impacto negativo sobre la biomasa y actividad microbiana (Montero et al., 2016). La eficacia como herbicida del ácido acético presente en el vinagre ha sido demostrada también sobre *Panicum maximun*, con resultados de 82% de control usando vinagre y del 98 % con concentraciones de ácido acético a partir del 10%; especies como *Cleome viscosa* y *Bidens pilosa* fueron controladas con concentraciones de ácido acético inferiores a las presentes en el vinagre (Pereira et al., 2013).

Investigaciones preliminares en Ecuador (Mawyin, 2020) evaluaron la mezcla de ácido acético (15%) + eugenol (1%) solo y en conjunto con el herbicida carfentrazone (0,001%), ambos a 2 l/ha y obtuvieron controles de malezas en la rodaja de palma cercanas al 70% durante todo el transcurso del experimento, con valores del 90% y 96% a los 30 días después de aplicado para la mezcla sin y con carfentrazone, respectivamente.

Existen en el mercado de algunos países como México, herbicidas comerciales a base de extractos naturales.



Figura 27. Presentación comercial de un herbicida a base de extractos naturales y su efecto sobre malezas en el cultivo de agave (tomada de [www.agroplanetmexico.mx/](http://www.agroplanetmexico.mx/)).

Tal es el caso del “Sec-Natural” que contiene aceite de conífera, extracto de la planta *Datura estramonium*, metabolitos de *Puccinia* sp, otros compuestos alelopáticos y aceite de coco como coadyuvante. Según los fabricantes es un herbicida de acción total y no tóxico para los humanos (Figura 27).

### 7. Manejo del banco de semillas

El banco de semillas del suelo es el reservorio de propágulos de malezas que han sido depositados o incorporados al suelo principalmente en los últimos ciclos productivos. El constante crecimiento de malezas durante todo el año, sus ciclos más cortos que el de los cultivos y su gran capa-

cidad de producir semillas bajo diversas condiciones, hace constante el enriquecimiento del banco de semillas en los suelos tropicales.

Sin embargo, el suelo es un entorno altamente hostil para las semillas, abrasivo, químicamente activo y repleto de seres vivos, desde microbios hasta vertebrados que ven a las semillas como fuente de alimento altamente nutritivo. Por lo tanto, la persistencia de las semillas en el suelo es mucho menor que su longevidad potencial.

Aun así, por efectos de condiciones ambientales dadas por la profundidad de entierro, las semillas pueden entrar en un periodo de latencia que les impide germinar. La labranza es

la responsable de enterrar las semillas en el suelo (disminuir la germinación) y también de llevar a la superficie semillas que han estado en capas inferiores (aumentar la germinación). Pero si en el campo se han dejado a las malezas madurar y producir semillas, la labranza convencional, y sobre todo la profunda (mayor a 20 cm), incrementará la cantidad de semillas de malezas en el banco, lo que puede tener consecuencias si se hace una labranza más profunda en un futuro. Cuando el suelo no es disturbado, el banco de semillas se incrementa en los primeros 5 cm y disminuye con la profundidad, sin embargo, cuando se somete a prácticas de labranza se

incrementa el banco de semillas al aumentar la profundidad (Vargas y Blanco, 2012).

Muchas prácticas de manejo de malezas buscan impedir el crecimiento de estas, no solamente por el hecho de la competencia inicial, si no para evitar su desarrollo y producción de semillas. Usualmente las malezas se controlan durante el periodo crítico de competencia, pero se debe evitar que estas lleguen a producir semillas y así enriquecer el banco.

El manejo del banco de semillas va a depender del tipo de malezas que se tengan. En un suelo donde se han seleccionado malezas “dulces” para aprovechar sus beneficios, al productor más bien le beneficia el enriquecer el banco de semillas, pues se asegurará una germinación de plantas que le proveerán de todos los beneficios citados al inicio de este documento. Pero por el contrario, si la finca posee malezas de difícil control, perennes, alelopáticas, se debe evitar el enriquecimiento del banco.

En este aspecto, la labranza mínima es un valioso aliado para reducir el banco de semillas, tanto en el sentido de aumentar germinaciones superficiales para controlarlas previas a

la siembra, como para evitar el entierro de semillas en capas más profundas del suelo.

### 8. Situación legal global del glifosato.

Ciertos grupos productivos, agricultores individuales, universidades y algunas municipalidades han iniciado procesos voluntarios de reducción del uso o eliminación del glifosato y de otros plaguicidas altamente peligrosos. También las certificaciones de mercado cada vez más exigen el retiro de ciertos plaguicidas del paquete de producción en algunos cultivos. Grupos de la sociedad civil presionan a las autoridades regulatorias sobre la necesidad de retirar de los campos y de las mesas, plaguicidas con comprobados efectos crónicos en la salud de las personas y en la salud ambiental.

La Plataforma Global de la Caña de Azúcar (BONSUCRO) busca que los plaguicidas aplicados (incluidos madurantes) en la producción de caña de azúcar, no sobrepasen los 5,00 kilogramos de ingrediente activo (i.a)/ha/año, buscando minimizar la contaminación del aire, el suelo y el agua. (BONSUCRO 2016).

A nivel mundial son cada vez más los países que aplican regulaciones más fuer-

tes al glifosato. Por ejemplo, la Unión Europea decidió en 2017 renovar la licencia de glifosato en su territorio por 5 años más, a pesar de que Bélgica, Grecia, Francia, Croacia, Italia, Chipre, Luxemburgo, Malta y Austria se opusieron a su renovación. En Francia se anuncia prohibición para todos sus usos, incluido el agrícola, antes del año 2022, con soporte estatal para la transformación, independientemente de la decisión de la Unión Europea.

Alemania tiene la intención de prohibir el glifosato a finales del 2023, cuando expire el periodo actual de autorización de la Unión Europea; han sido principalmente los biólogos los que han hecho sonar la alarma sobre la caída vertiginosa, en parte debido a los herbicidas, de las poblaciones de insectos, así como la alteración de los ecosistemas, lo que incluye a la polinización de las plantas.

Otros países lo han prohibido para aplicarse en lugares públicos (Francia, Holanda, Escocia, Italia, entre otros). En ciudades como Barcelona y Madrid hay prohibición de uso en parques; en el Municipio de Hernani, del País Vasco lo prohibió en espacios públicos. En total más de 150 ayuntamientos de España se han declarado

libres de glifosato en espacios públicos.

En Finlandia la aplicación pre cosecha no se permite para granos usados como semilla o comida. La industria de piensos no acepta granos que hayan sido tratados con glifosato. En Colombia se prohibió su pulverización aérea como parte del programa de erradicación de cultivos de uso ilícito.

Recientemente en México, por decreto presidencial de diciembre 2020, se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente. Así, se reducirá la importación y uso del glifosato hasta la eliminación total de su uso en el 2024, fomentando alternativas sostenibles (SEGOF, 2020).

Asimismo, Vietnam decidió prohibir el registro, la importación y el uso de todos los productos que contengan glifosato a partir del 30 de junio del 2021 (Pham, 2020).

En Costa Rica, el Ministerio de Salud, a través de la Dirección de Protección al Ambiente Humano, alerta a todas las instituciones públicas, privadas y a la población en general, sobre el uso inadecuado que se está dando a los herbicidas registrados como USO PROFESIONAL y USO AGRI-COLA, ya que están siendo utilizados para otros usos tales como control de hierbas en sitios públicos, parques, cementerios, áreas verdes, campos deportivos, orilla de caminos, áreas recreativas, casas de habitación y otros.

Estos usos no autorizados, representan un alto riesgo de exposición a toda la población ya que sus aplicaciones se realizan al aire libre, sin que los afectados estén enterados del riesgo que conlleva la exposición a los productos utilizados, provocando afectación a la salud, posibles eventos de intoxicación e incluso la muerte. El uso doméstico o profesional del glifosato en Costa Rica está prohibido al no existir registros en el Mi-

nisterio de Salud, que es quien por ley está a cargo de este tipo de registros.

Con la finalidad de resguardar la salud de los costarricenses y en cumplimiento del artículo 50 de la Constitución Política de Costa Rica, que establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, y que el Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho, el Ministerio de Salud PROHIBE el uso de herbicidas de USO PROFESIONAL y USO AGRI-COLA en ambientes donde vivan, circulen, permanecen, o concurren personas (viviendas, edificios, instalaciones públicas y privadas, comercios, vehículos públicos y privados, jardines interiores y exteriores, líneas férreas, etc.). Los plaguicidas de uso profesional son aquellos que necesitan ser manipulados (dosificados, diluidos o mezclados) para poder ser aplicados.

El dueño de la molécula de glifosato, el grupo farmacéutico y agroquímico alemán Bayer, anunció que llegó a un acuerdo masivo para pagar casi 11 mil millones de dólares en Estados Unidos a los afectados que los demanden por padecer cáncer, principalmente el linfoma Non Hodgkin, debido a exposiciones repetidas al herbicida.

## 9. Conclusiones

Cuando a una sustancia tan ampliamente utilizada como el glifosato, considerada de baja toxicidad, se le examina a fondo con nuevas técnicas y equipos modernos, salen a la luz características que hacen replantearse si vale la pena el aplicar una molécula que puede causar una serie de perjuicios que no se conocían años atrás.

El glifosato es una sustancia que por sus características físicoquímicas, resulta altamente contaminante para todo tipo de aguas; es una sustancia que no se degrada en el interior de ninguna planta por lo que desde ese momento ingresa y contamina la cadena alimenticia humana. Los grandes productores y exportadores de granos lo utilizan como desecante, por lo que en muchos países los consumidores de alimentos inevitablemente están expuestos al herbicida, aunque nunca hayan visto una aplicación en el campo.

Este herbicida podría estar produciendo intoxicaciones sistémicas poco perceptibles al ojo del agricultor, en cultivos perennes como café, palma aceitera, cítri-

cos y forestales, entre otros donde su uso es mayor, que ven gradualmente reducidas sus productividades y aumentar en la incidencia de complejos de enfermedades de difícil diagnóstico; además, se disminuye la capacidad de las plantas para obtener nutrientes del suelo, por el daño directo al sistema radical y a la pérdida gradual de la fertilidad del suelo debido a la disminución de la microbiota que transforma la materia orgánica en nutrientes biodisponibles para la planta.

Es el herbicida de mayor uso en el mundo y no solamente se usa en los cultivos, también en zonas no agrícolas, bordes de carreteras, vías férreas, oleoductos, bordes de canales y hasta en parques y lugares de recreo de zonas urbanas, por lo que la exposición a los habitantes de las ciudades también es un hecho. Los trabajadores agrícolas son los que están en la primera línea de exposición y ni el hecho de practicar la agricultura orgánica los exime de tener residuos de glifosato en sus cuerpos.

En los campos agrícolas, ya la sabia naturaleza está

reaccionando a las constantes aplicaciones de glifosato sobre las poblaciones de plantas arvenses. Cada día se suman biotipos de plantas a la larga lista de malezas resistentes a este herbicida, por lo que no solamente las certificaciones de mercado, las restricciones o prohibiciones del glifosato y los juicios legales contra sus fabricantes, harán que esta molécula abandone pronto los "paquetes tecnológicos" con los que se intenta mantener una agricultura insostenible que no respeta la salud de las personas ni el equilibrio natural del entorno.

Existen comprobadas alternativas a este herbicida en la mayoría de cultivos y situaciones de uso. Por dicha no se han olvidado las formas agroecológicas de producir alimentos y cada día el aporte de tácticas y tecnologías novedosas en las formas de cultivar la tierra es mayor, motivado por la necesidad de una agricultura que produzca alimentos sin venenos y de mantener un ambiente sano que guarde el mejor tesoro del agricultor, su salud.

**10. Referencias bibliográficas**

- Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC), Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Monografía 112. Algunos insecticidas organofosforados y herbicidas. 464 p
- Agüero, R, Portugués, P, González, M, Rodríguez, A. (2017). Actividad herbicida de tres sustancias de origen natural. En Memorias XXIII Congreso Latinoamericano y III Iberoamericano de Malezas. ALAM. Cuba. 224-227
- Alonso, L; Demetrio, P; Etchegoyen, A; Marino, D. (2018). Glyphosate and atrazine in rainfall and soils in agroproductive areas of the pampas region in Argentina. *Science of the Total Environment*. 645: 89-96
- Andréa, M., Peres, T., Luchini, L., Bazarin, S., Papini, S., Matalio, M., Savoy, V. (2003). Influence of repeated applications of glyphosate on its persistence and the soil bioactivity. *Pesquisa Agropecária Brasileira* 38 (11): 1329-1335.
- Andreasen C., Stryhn H. y Streibig, J.C. (1996). Decline of the flora in Danish arable fields. *Journal of Applied Ecology* 33, 619-626.
- Benachour, N., Seralini, G. (2009). Glyphosate Formulations Induce Apoptosis and Necrosis in Human Umbilical, Embryonic, and Placental Cells. *Chemical Research in Toxicology* 22 (1): 97-105.
- Biblioteca Cenicafé. (2009). Avances Técnicos 383. Gerencia Técnica. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/356/1/avt0383.pdf>
- BONSUCRO The global sugarcane platform. (2016). Estándar de Producción BONSUCRO, Guía para el Estándar de Producción Bonsucro para la UE. Versión 4.2 London, United Kingdom. 60 p.
- Bradshaw, L. D., Padgett, S. R., Kimball, S. L. & Wells, B. H. (1997). Perspectives on glyphosate resistance. *Weed Technology*, 11(1), 189-198.
- Cakmak, I., Yazici, A., Tutus, Y. y Ozturk, L. (2009). Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *European Journal of Agronomy*, 31, 114-119.
- Clarimón, L. y Cortés, A. (2016). Alternativas al uso de glifosato y otros herbicidas de síntesis química. Zaragoza, España. Recuperado de: <https://www.ccoo.es/cf089f5ee22ced87a15305a825155072000051.pdf>
- Carvalho, F.P.D., Franca, A.C., Lemos, V.T., Ferreira, E.A., Santos, J.B.D., Silva, A.A.D. (2013). Photosynthetic activity of coffee after application of glyphosate subdoses. *Acta Sci. Agron.* 35:109-115.

- Castanheira, D; Alecrim, A; Voltolini, G; Rezende, T; Netto, P; Guimaraes, R. (2019). Growth, anatomy and physiology of coffee plants intoxicated by the herbicide glyphosate. *Coffee Science, Lavras*, v. 14, n. 1, p. 76 - 82, jan./mar.
- Castillo-Luna, M., y Gómez-Gómez, R (2016). Efecto de la esterilización del suelo con vapor de agua sobre semillas de malezas. *Agronomía Mesoamericana*, v27 (2), 409-413. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/437/43745945018.pdf>
- Centro Nacional de Control de Intoxicaciones (CNCI). (2020). Datos de Intoxicaciones con plaguicidas, casos reportados al CNCI en el año 2019, Costa Rica. 15p
- Coupland, D. & Caseley, J. C. (1979). Presence of <sup>14</sup>C activity in root exudates and guttation fluid from *Agropyron repens* treated with <sup>14</sup>C-labelled glyphosate. *New Phytol*, 38(1), 17-22.
- Coutinho, C., Mazo, L. (2005). Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisao. *Química Nova* 28 (6): 1038-1045.
- Cox, Caroline. (1998) Glyphosate, Part 2: Human Exposure and Ecological Effects *Journal of Pesticide Reform*. N°15 Vol 4. Recuperado de: [http://www.terrazul.org/Archivo/Glyphosate\\_Fact\\_Sheets.pdf](http://www.terrazul.org/Archivo/Glyphosate_Fact_Sheets.pdf)
- Cuhra, M; Bohn, T. y Cuhra, P. (2016). Glyphosate: Too Much of a Good Thing? *Front. Environ. Sci.*, Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2016.00028/full>
- Dill, G., Sammons, D., Feng, P., Kohn, F., Kretzmer, K., Mehrsheikh, A.,... Hauptfear, E. (2010). Glyphosate: Discovery, development, applications, and properties. In Nandula, VK (Ed). *Glyphosate Resistance in Crops and Weeds, History, Development and Management*. (pp 1-34) Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Duke, S. O., Baerson, S. R. & Rimando, A. M. (2003). Glyphosate. En D. W. Gammon & N. R. Ragsdale (Eds.), *Encyclopedia of Agrochemicals On line*. John Wiley e hijos. Recuperado de <http://www.interscience.wiley.com/emrw/9780471263630/home/>
- Duke, S. O. & Powles, S. B. (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 64(4), 319-325. doi: 10.1002/ps.1518
- EPA (1993). R.E.D. FACTS. Glyphosate. Disponible en: [https://www3.epa.gov/pesticides/chem\\_search/reg\\_actions/reregistration/fs\\_PC-417300\\_1-Sep-93.pdf](https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-417300_1-Sep-93.pdf)
- FAO. (2020). Estadísticas Agrícolas. Consultado en: <http://www.fao.org/faostat/es/#home>.
- Fedtke, K.; Duke, S. O. (2005). *Plant Toxicology*; Marcel Dekker: New York.

- Folmar, L. C., Sanders, H. O., & Julin, A. M. (1979). Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.*, 8(3), 269-278. doi: 10.1007/BF01056243
- França, A., R. Reis, M. Freitas, C. Fialho, L. Reis y A. Silva. (2010). Crescimento de cultivares de café arábica submetidas a doses do glyphosate. *Planta Daninha* 28(3): 599-607.
- Franca, A. C., Freitas, MA., D'Antonino, L., Fialho, CM., Silva, AA., Reis, MR. Y Ronchi, CP. (2010). Teores de nutrientes em cultivares de café arábica submetidos à deriva de glyphosate. *Planta Daninha, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 877-885.*
- Fuhrmann S, Winkler MS, Staudacher P, Weiss FT, Stamm C, Eggen RI, Lindh, C, Menezes-Filo J, Baker J, Ramírez-Muñoz F, Gutiérrez-Vargas R y Mora AM. (2019). Exposure to pesticides and health effects in farm owners and workers from conventional and organic agricultural farms in Costa Rica: a study protocol. *JMIR Res Protoc.* 8(1):e10914. Disponible en: <https://www.researchprotocols.org/2019/1/e10914/>
- Gaupp-Berghausen, M., Hofer, M., Rewald, B. y Zaller, JG. (2015). Glyphosate based herbicides reduce the activity and reproduction of Earthworms and lead to increased soil nutrient concentrations. *Scientific Reports* 5 (1). Nature Publishing Group:12886.
- Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M., Séralini, G. (2009). Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology* 262:184-191.
- Giesy, J. P., Dobson, S. & Solomon, K. R. (2000). Ecotoxicological risk assessment for Roundup® Herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 167, 35-120.
- Goldmann, L. (2004). Intoxicación por plaguicidas en niños: Información para la gestión y la acción. FAO, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y OMS.
- Harrison, Lea. (1996). La Fertilidad de los Suelos. Recuperado de: <http://www.tierramor.org/Articulos/Fertilidad%20de%20suelos.htm#arriba>
- Heap, I. (2021). International Survey of Herbicides Resistant Weeds. Recuperado de [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)
- Jayasumana, C., Gunatilake, S., Senanayake, P. (2014). Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals : Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka ?. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11(2) : 2125-2147
- Jiménez, A. (2013). El café en Costa Rica: gran modelador del costarricense. Edit UCR. San José, Costa Rica. 692 p
- Khan, I. y Ishaf, M. (2015). Técnicas ecológicas de control de malezas (extracto alelopático) en el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, volumen 6 (6), 1307-1316. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000600013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000600013)
- Kremer RJ, Means NE. (2009). Glyphosate and Glyphosate-Resistant Crop Interactions with Rhizosphere Microorganisms. *European Journal of Agronomy* 31(3). Elsevier: 153-161
- Kruger, M., Schiedorn, P., Schrodler, W., Hoppe, H., Lutz, W., Shehata, A. (2014). Detection of Glyphosate Residues in Animals and Humans. *Environmental and Analytical Toxicology* 4(2):5
- Laing, Douglas. (2015). Explorando las Causas del Vaneamiento de la Panícula de Arroz en los Trópicos de América Latina. Presentación. Investigador y Consultor Independiente.
- Londo, J., McKinney, J., Schwartz, M., Bollman, M. A., Sagers, C. L., Watrud, L. S. (2014). Sub-lethal glyphosate exposure alters flowering phenology and causes transient male-sterility in Brassica spp. *BMC Plant Biology* 14:70 doi:10.1186/1471-2229-14-70
- Malalgoda, M; Ohm, J; Ransom, J.K; Green, A; Howatt, K. y Simsek, S (2020). Preharvest Glyphosate Application during Wheat Cultivation: Effects on Wheat Starch Physicochemical Properties. *J. Agric. Food Chem.* 2020, 68, 503-511
- Massensini, A.M., Costa, M. D., Reis, M. R. & Silva, A. A. (2008). Activity of phosphate solubilising bacterial isolates in the presence of commercial glyphosate formulations. *Planta Daninha*, 26(4), 815-823
- Montero, S., Cardoso, J; Diniz, C, Cañarte, M. (2016). Vinagre como desecante de plantas de cobertura y su efecto en la actividad microbiana del suelo en sistema de siembra directa. *La Técnica Revista de las Agrociencias* ISSN 2477-8982
- Motta, E; Raymanna, K; y Morana, N. (2018). Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(41):201803880
- Mosheim, Diana. (2018). Herbicida Glifosato, Posibles Riesgos para la Salud. Avance de revisión bibliográfica Comisión Interinstitucional para el Estudio de Glifosato. Comité de Ambiente y Salud Colegio de Médicos y Cirujanos de C.R. 79p
- Munira S, Farenhorst A, Flaten D, y Grant C. (2016). Fosfate Fertilizer Impacts on Glyphosate Sorption by Soil. *Chemosphere* 153:417-477
- Myers, J., Antoniou, M., Blumberg, B., Carroll, L., Colborn, T., Everett, L., Hansen, M., Landrigan, P., Lanphear, B., Mesnage, R., Vandenberg, L., vom Saal, F., Igarashi, T. (2015). Paralytic ileus induced by glyphosate intoxication successfully treated using Kampo medicine. *Acute Medicine and Surgery*. 2: 214-218.

Nelson, S. (2008). Glyphosate herbicide injury to coffee. Crop Extension Service, CTAHR, University of Hawaii. Plant Disease.

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2017). Informe de la Relatora Especial sobre el Derecho a la Alimentación. Asamblea General. Consejo de Derechos Humanos 34<sup>o</sup> período de sesiones, febrero-marzo 2017. Disponible en: <https://www.refworld.org/cgi-bin/texis/vtx/rwmain/opendocpdf.pdf?reldoc=y&docid=58ad94864>

Parvez, S., Gerona, R., Friesen, M., Ashby, J., Relter, J., Lui, Z., Winchester, P. (2018). Glyphosate exposure in pregnancy and shortened gestational length: a prospective indian birth cohort study. *Environmental Health* 17 (1):23.

Pereira, S; Maia, AJ; de Sousa, RVR y da Nóbrega, E. (2013). Eficacia do ácido acético no controle de algumas espécies de plantas daninhas. *Centro Científico Conhecer - Goiânia*, v.9, N.16; 2512-2523

Pesticide Action Network Internacional (PAN). (2019). PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. Disponible en [http://pan-international.org/wp-content/uploads/PAN\\_HHP\\_List.pdf](http://pan-international.org/wp-content/uploads/PAN_HHP_List.pdf)

Peters, B. y Strek, H. J. (2016). The global status of weed resistance and consequences for agricultural practices. In *Proceedings 7th International Weed Science Congress*. Prague, Czech Republic.

Pham, Thu. (2020). Vietnam Extends the Use of Glyphosate until June 2021. USDA/GAIN. En: [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Vietnam%20Extends%20the%20Use%20of%20Glyphosate%20until%20June%202021\\_H](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Vietnam%20Extends%20the%20Use%20of%20Glyphosate%20until%20June%202021_H)

Piccolo, A., Celano, G. & Conte, D. (1996). Adsorption of Glyphosate by Humic Substances. *Agric. Food Chem.*, 44, 2442-2446.

Pratley, J., Baines, P., Eberbach, R., Incerti, M., y Broster, J. (1996). Glyphosate resistance in annual ryegrass. In *Proc. 11th Annual Conf. Grasslands Soc. of New South Wales* (pp. 126). Wagga Wagga, Australia

Primost E., Marino J.G., Aparicio C., Costa JL, Carriquiriborde P. (2017). Glyphosate and AMPA, "pseudo-persistent" pollutants under real-world agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina. *Environmental Pollution*, V. 229, 771-779. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117315087>

Radhakrishnan, J. et al. (2003). Agricultural Applications of Vinegar. *Proceedings of Northeastern Weed Science Society*. Recuperado de: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=142484>

Ramírez, Fernando. (2017). Mecanismo de Resistencia de *Paspalum paniculatum* L. (Poaceae) al Herbicida Glifosato. Tesis Ph. D. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia. Cartago. 140 p

Ramírez, F; Bravo, V. y Herrera, G. (2017). Uso del herbicida glifosato en Costa Rica en el periodo 2007-2015. *Uniciencia* V. 31, No. 1, pp. 59-72.

Ramírez, F., Chaverri, F., de la Cruz, E., Wesseling, C., Castillo, L. & Bravo, V. (2009). Importación de Plaguicidas en Costa Rica Periodo 1977 - 2006. In *Serie Informes Técnicos*. Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional de Costa Rica. N°6. 58p

Reddy, K., Rimando, A., Duke, S. & Nandula, V. (2008). Aminomethylphosphonic Acid Accumulation in Plant Species Treated with Glyphosate. *J. Agric. Food Chem.*, 56, 2125-2130.

Research and Markets (2021). Global market for glyphosate. Disponible en: [https://www.researchandmarkets.com/reports/1946781/glyphosate\\_global\\_market\\_trajectory\\_and](https://www.researchandmarkets.com/reports/1946781/glyphosate_global_market_trajectory_and)

Rojas, M. y Agüero, R. (1996). Combate biológico de *Hydrilla verticillata* Vahl con carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella* Vía). *Agronomía Mesoamericana* 7(2):1-12

Rodrigues, B. N., Worsham, A. D. y Corbin, F. T. (1982). Exudation of glyphosate from wheat (*Triticum aestivum*) plants and its effects on interplanted corn (*Zea mays*) and soybeans (*Glycine max*). *Weed Sci.*, 3, 316-320.

Rodríguez, J. (2012). Efecto de la solarización del suelo sobre la emergencia de malezas. *Agrociencia Uruguay*, volumen 16 (1), 79-85. Recuperado de: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v16n1/v16n1a10.pdf>

Roig, G., Montull, J., Llenes, J. y Taberner, A. (2017). Herbicidas alternativos en viña ecológica. XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología. Volumen 1, 381-381. Recuperado de: <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/27190/04.2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Roy, D., Koner, S., Banerjee, S., Charles, D., Thompson, D. & Prasad, R. (1989). Persistence, movement and degradation of glyphosate in selected Canadian boreal forest soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37, 551-559

Salazar, L. & Appleby, Z. (1982). Herbicidal activity of glyphosate in soil. *Weed Science*, 30, 463-466.

Sánchez, V. y Zúñiga, C. (1999). Patógenos Nativos de América Latina con Potencial como Agentes de Control Biológico de Malezas con Énfasis en *Rottboellia cochinchinensis*. En: *Control Biológico de Rottboellia cochinchinensis*. NRI-CATIE-DFID. Turrialba, Costa Rica. 219p.

- SEGOF (Secretaría de Gobernación). (2020). Decreto Ejecutivo Federal, México. Diario Oficial de la Federación. 31/12/2020. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020)
- SEPSA. (2019). Boletín Estadístico Agropecuario #29, Serie Cronológica 2015-2018. Sector Agroalimentario, Gobierno de Costa Rica. 143 p. Consultado en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BEA-0029.PDF>
- SFE (2021). Listado oficial de productos con aplicación aérea al 07/12/2020. Consultado en: [https://www.sfe.go.cr/DocsStatusRegistro/Lista\\_productos\\_aplicacion\\_aerea.pdf](https://www.sfe.go.cr/DocsStatusRegistro/Lista_productos_aplicacion_aerea.pdf)
- Sharon, G., Sampson, T., Geschwind, D. y Mazmanian, S. (2016). The Central Nervous System and the Gut Microbiome. *Cell*, 167:915-932
- Silva V, Montanarella L, Jones, A, Fernández-Ugalde O, Mol H, Ritsema C y Geisse V. (2017). Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Sci Total Environ* 15;621:1352-1359
- Simonsen L., Fomsgaard IS., Svensmark B. y Spliid, NH. (2008). Fate and Availability of Glyphosate and AMPA in Agricultural Soil. *J. of Env. Sci. and Health- Part B. Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes* 43(5):365-375
- Smith, G. (2016). Glyphosate Monitoring Study. Evaluation of the exposure risks from Glyphosate and associated degradation products from side-road spraying for weed control. Bermuda Government, Ministry of the Environment. Disponible en: <https://www.gov.bm/sites/default/files/20170112%20Glyphosate%20Study%20Results%20-%20Stakeholder%20Presentation.pdf>
- Stephenson, C. y Harris, A. (2016). An Assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods. *Food and Chemical Toxicology* 95: 28-41.
- Svensson M, Urinboyev R, Wigerfelt Svensson A, Lundqvist P, Littorin M, Albin ML., (2013). Migrant Agricultural Workers and Their Socio-Economic, Occupational and Health Conditions – A Literature Review. Universidad de Lund (1 de enero de 2013).
- Székács, A., Darvas, B. (2012). Agricultural and Biological Sciences, Herbicides-Properties, Synthesis and Control of Weeds. Chapter 14 Forty Years with Glyphosate. INTECH.
- Tuffi-Santos, L. D., Santos, J. B., Ferreira, F. A., Oliveira, J. A., Bentivenha, S. & Machado, A. F. L. (2008). Exsudacao radicular de glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto. *Planta Daninha*, 26(2). Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582008000200013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582008000200013)
- Uliarte, E.M., Ambrogetti, A.O., Montoya, M.A. y del Monte, R.F. (2011). Proyecto: Tecnología de control térmico de malezas en viticultura orgánica (CTMVO): Estudio de adaptabilidad de equipamiento por flameado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Doi: 10.13140/RG.2.2.29256.34727

- UNEP. (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Disponible en: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>
- Urteaga, A (2005). Determinación del potencial alelopático de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L) más frecuentemente empleados en la Mesopotamia. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Entre Ríos. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/33998418.pdf>
- Van Driesche, RG; Hoddle, MS. Y Center, TD. (2007). Control de Plaga y Malezas por Enemigos Naturales. USDA-Forest Health Technology Enterprise Team. Estados Unidos. 750p
- Vargas M. y Blanco, H. (2012). Efecto de Prácticas de Manejo del Suelo sobre el Banco de Semillas de Malezas, Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes UCR*. Vol. XIII. (26-2012)45-57. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/666/66624662003.pdf>
- Watts M, Clausing P, Lyssimachou A, Schütte G, Guadagnini R, Marquez E. (2016). Glyphosate monograph. Ed. Pesticide Action Network International (PAN), 96 p.
- Williams, G., Kroes, R., Munro, I. (2000). Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup and its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 31, 117-165
- Wunnapuk, K., Gobe, G., Endre, Z., Peake, F., Grice, J., Roberts, M., Buckley, N., Liu, X. (2014). Use of a glyphosate-based herbicide-induced nephrotoxicity model to investigate a panel of kidney injury biomarkers. *Toxicology Letters*. 225 (1): 192-200.
- Xu, J; Smith, S; Smith, G; Wanga, W. & Lib, Y. (2019). Glyphosate contamination in grains and foods: An overview. *Food Control* 106(2019) 106710
- Zaller JG, Heigl F, Ruess L. y Grabmaier A. (2017). Glyphosate herbicide Affect Below-ground Interactions between Earthworms and Symbiotic Mycorrhizal Fungi in a Model Ecosystem. *Scientific Reports* 4:5634

