

**DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS NEGATIVOS QUE CAUSA LA APLICACIÓN
DEL GLIFOSATO COMO MECANISMO DE CONTROL DE ARVENSES SOBRE LA
SALUD HUMANA Y DE LOS ANIMALES**

JOSE LUIS TORRADO NAVARRO

Código: 5469473

Trabajo de grado opción Monografía presentado para optar el título de Agrónomo

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO

AMBIENTE (ECAPMA)

CEAD OCAÑA

2018

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

Tabla de contenido

Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción	14
Capítulo 1. Objetivos	15
1.1. Objetivo General	15
1.2. Objetivos Específicos	15
Capítulo 2. Marco Conceptual y Teórico	16
Capítulo 3. Resultados	26
3.1. Efectos sobre la salud.	26
3.1.1. Toxicidad aguda.	26
3.1.2. Toxicidad crónica.	28
3.1.3. Efectos reproductivos.	29
3.1.4. Acción cancerígena.....	29
3.1.5. Acción mutagénica.	30
3.1.6. Efectos ambientales.	31
3.1.7. Contaminación del suelo.....	32
3.1.8. Contaminación de aguas.	33
3.1.9. Contaminación de alimentos.	34
3.2. Efectos en animales	35
3.2.1. Insectos y otros artrópodos benéficos.....	35
3.2.2. Peces y otros organismos acuáticos.	38
3.2.3. Aves.	39
3.2.4. Pequeños mamíferos.....	39
3.2.5. Lombrices de tierra.....	39
3.3. Efectos sobre plantas deseables	39
3.4. Metodologías y estrategias para el control de arvenses.	40
3.4.1. Métodos culturales de control de maleza.....	40
3.4.2. Control químico.....	41
3.4.3. Control mecánico.	42
3.4.4. Cultivos por hilera.	42
3.5. Alternativa recomendada.....	42

3.5.1.	Pruebas de Campo Fossil SL 480 + Ciclón H..	43
3.5.2.	Tratamientos en Campo Fossil SL 480 + Ciclón H.	44
3.5.3.	Variables a evaluar en campo.....	44
	Conclusiones	48
	Recomendaciones	49
	Referencias	51

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Esquema de la vía metabólica del shikimato y mecanismo de acción del glifosato en plantas	22
Ilustración 2. Posibles interacciones del glifosato	23

Tabla de Figuras

Figura 1. Metodología de Evaluación De Fossel SL 480 + Ciclón H	45
Figura 2. Porcentaje de Control de Ludwigia Hyssopifolia.....	46
Figura 3. Porcentaje de Control de Stemodia Durantifolia.....	46
Figura 4. Resultados de aplicación Fossel 100% y Fossel 50% +Ciclón H	47

Lista de tablas

Tabla 1. Localidades de pruebas de campo	43
Tabla 2. Tratamiento en Campo Fossil	44

Glosario

Absorción: el movimiento de una sustancia a través de una superficie expuesta (por ejemplo, piel, mucosa respiratoria, mucosa digestiva) a la circulación para que sea distribuida en todo el cuerpo. Varía según la capacidad inherente del compuesto para cruzar una barrera en particular.

Adsorción: el proceso por el cual un compuesto se atrae, se retiene o se une a una superficie mediante atracción física o química.

Adyuvante: ingrediente que se añade a una formulación en particular para aumentar la disponibilidad y eficacia del ingrediente activo. A menudo actúan aumentando la distribución, absorción e incorporación de los ingredientes activos.

Antropogénico: compuesto químico desarrollados artificialmente por el hombre.

Alteración: Cambio en la forma de algo, perturbación, trastorno.

Áreas protegidas: Un área protegida es un territorio de manejo especial para la administración, manejo y protección del ambiente y los recursos naturales renovables, y son espacios creados por la sociedad en su conjunto, articulando esfuerzos que garanticen la vida en condiciones de bienestar; es decir la conservación de la diversidad biológica y el mantenimiento de los procesos ecológicos necesarios para el desarrollo del ser humano. En Colombia las áreas protegidas corresponden a las categorías de: Reserva natural, Parque Nacional, Santuario de Fauna, Santuario de Flora, Área Natural Única, Vía parque.

Arcos faríngeos: Resultan de la segmentación bilateral del mesodermo cefálico y están presentes en el desarrollo de todos los vertebrados (al menos en algún momento del mismo). En peces dan origen al aparato branquial, además de otros derivados.

Aspersión aérea: Proceso llevado a cabo por la Policía Antinarcóticos Colombiana orientado a asperjar con glifosato, áreas destinadas al cultivo de especies ilícitas. Esta estrategia de erradicación de cultivos ilícitos se realiza mediante la aspersión por vía aérea de una mezcla del producto llamado Round up – nombre comercial del herbicida glifosato – y un surfactante llamado Cosmoflux con otros aditivos.

Bioconcentración: Acumulación de sustancias tóxicas en un organismo. Ocurre en el caso de las sustancias que después de ser absorbidas no son excretadas.

Biodiversidad: La biodiversidad es la totalidad de los genes, las especies y los ecosistemas de una región. La riqueza actual de la vida de la Tierra es el producto de cientos de millones de años de evolución histórica. A lo largo del tiempo, surgieron culturas humanas que se adaptaron al entorno local, descubriendo, usando y modificando recursos bióticos locales. Muchos ámbitos que ahora parecen "naturales" llevan la marca de milenios de habitación humana, cultivo de plantas y recolección de recursos. La biodiversidad fue modelada, además, por la domesticación e hibridación de variedades locales de cultivos y animales de cría.

Blastodermo: Macizo de células llamadas blastómeras, que resulta de las sucesivas divisiones celulares que ocurren en el polo animal embrión.

Blástula: Estadío temprano del desarrollo embrionario de la mayoría de los animales. En la blástula de peces, a diferencia de otros animales, no hay cavidad o blastocele.

Bosques primarios: los que no han sufrido intervenciones andrógenas.

Bosques secundarios: los que se han regenerado después de una primera tala, parcial o total.

Bosques artificiales: los que han sido plantados por el hombre, para cualquier fin.

Carcinogénico: Agente químico, físico o biológico que puede actuar sobre los tejidos vivos de tal forma que se produzca un neoplasma maligno.

Cifosis: Curvatura fisiológica de la columna vertebral en la región dorsal.

Citotóxico: Dañino para las células.

Coadyuvante: Se refiere a sustancias que contribuyen en la inducción de una mayor respuesta inmune hacia un antígeno o sustancia extraña cuando se administran juntos el adyuvante y el antígeno.

Gástrula: Estadío del desarrollo embrionario en el cual se produce intensa reorganización celular.

Herbicida: Producto fitosanitario utilizado para eliminar plantas indeseadas

Lixiviados: El lixiviado es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Este líquido es más comúnmente hallado asociado a Rellenos sanitarios, en donde, como resultado de las lluvias percolando a través de los desechos sólidos y reaccionando con los productos de descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido el lixiviado. Si el Relleno Sanitario no tiene sistema de recogida de lixiviados, éstos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar, como resultado, problemas medioambientales y/o de salud. Típicamente, el lixiviado es anóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro.

Lordosis: Alteración de la curvatura normal de la columna vertebral, de la zona lumbar.

Mutagénico: Agente físico o químico que induce mutaciones.

Neurulación: Proceso a través del cual cierta región del ectodermo dorsal mediante distintos procesos de señalización específica, se convierte en placa neural y a partir de esta se forma el tubo neural, rudimento del sistema nervioso central.

Notocorda: Cordón de mesodermo dorsal que separa al embrión en una mitad derecha y otra izquierda y que induce al ectodermo que se encuentra por encima de ella a convertirse en el futuro sistema nervioso.

Saco vitelino: Saco o anexo embrionario del huevo de amniota que almacena proteínas y otros nutrientes.

Segmentación: Etapa temprana del desarrollo embrionario posterior a la fecundación, que consiste en una serie de divisiones mitóticas rápidas a través de las cuales el gran volumen del cigoto es dividido en numerosas células pequeñas.

Somitas: Bloques de células mesodérmicas correspondientes al mesodermo paraxial, ubicados a ambos lados del tubo neural y que darán origen a muchos de los tejidos conjuntivos del dorso (hueso, cartílago, dermis de la piel) y a músculos esqueléticos.

Teratogénico: Agente físico o químico capaz de producir defectos congénitos y/o malformaciones permanentes al organismo en desarrollo durante el período prenatal, en dosis que no causan muerte a la madre. Estos defectos pueden causar aborto espontáneo.

Toxicología: Ciencia que estudia las sustancias químicas y los agentes físicos en cuanto son capaces de producir alteraciones patológicas a los seres vivos, a la par que estudia los mecanismos de producción de tales alteraciones y los medios para contrarrestarlas, así como los procedimientos para detectar, identificar y determinar tales agentes y valorar su grado de toxicidad.

Tubo neural: Tubo formado a partir de células del ectodermo dorsal neural y que posteriormente dará origen al sistema nervioso central.

Resumen

El control de arvenses siempre ha sido un factor importante en la agricultura, con el incremento de la población mundial, el producir alimento suficiente ha sido un constante reto para la humanidad. Durante años se han implementado técnicas para su control, algunas manuales y la mayoría de manera química, ya que esta última es la más rentable, efectiva y rápida. Por lo anterior se planteó la siguiente investigación con el fin de determinar los efectos negativos que causa la aplicación del Glifosato como mecanismo de control de arvenses sobre la salud humana y de los animales; así mismo, determinar a nivel mundial las tendencias y metodologías más usadas y con mejores resultados, definiendo al final una opción óptima para el tratamiento de las arvenses. El glifosato es un herbicida sistémico que actúa en post-emergencia, no selectivo, de amplio espectro, usado para matar plantas no deseadas como pastos anuales y perennes, hierbas de hoja ancha y especies leñosas. El control químico con glifosato es la mejor opción para el control de arvenses, pero también es el que genera mayores efectos negativos sobre el ambiente, la salud de las personas y los animales; allí radica la importancia de este trabajo ya que en él encontramos que la compañía Tecnoquímicas S.A, dueño del registro ICA del producto Fossil SL 480, I.A Glifosato, ha desarrollado un optimizador llamado Ciclón, que al mezclarlo con Fossil permite que éste funcione al 50% de la dosis habitual, obteniendo los mismos resultados, mejorando la rentabilidad y reduciendo los efectos dañinos anteriormente mencionados.

Palabras clave: Glifosato, arvenses, salud humana, medio ambiente

Abstract

Weed control has always been an important factor in agriculture, with the increase of the world population, producing enough food has been a constant challenge for humanity. For years, techniques have been implemented for its control, some manual and most chemically, since the latter is the most profitable, effective and fast. Therefore, the following research was proposed in order to determine the negative effects caused by the application of glyphosate as a mechanism of weed control on human and animal health; likewise, to determine worldwide the most used trends and methodologies with the best results, defining at the end an optimal option for the treatment of weeds. Glyphosate is a systemic herbicide that acts in post-emergence, non-selective, broad spectrum, used to kill unwanted plants such as annual and perennial grasses, broadleaf grasses and woody species. The chemical control with glyphosate is the best option for the control of weeds, but it is also the one that generates the greatest negative effects on the environment, the health of people and animals; There lies the importance of this work because in it we find that the company Tecnoquímicas SA, owner of the ICA register of the product Fossil SL 480, IA Glifosato, has developed an optimizer called Cyclone, which when mixed with Fossil allows it to work at 50% of the usual dose, obtaining the same results, improving the profitability and reducing the aforementioned harmful effects.

Key words: glyphosate, weeds, human health, environment

Introducción

Una persona en el mundo alcanza una ingesta diaria aproximada de 2700 kcal en promedio (FAO, 2000), convirtiendo a la agricultura en un eje primordial en la economía, lo que lleva a que mucho países extiendan los cultivos, utilizando cada vez más fertilizantes y plaguicidas para lograr rendimientos superiores (Ongley, 1997), sin tener en cuenta las consecuencias negativas en el medio ambiente y en la salud humana. Para el proceso agrícola, el uso de agua dulce es vital para la actividad, esta es reciclada en agua subterránea y/o superficial, y el uso de herbicidas ocasiona contaminación de los recursos hídricos (FAO, 2000).

En el mundo el sistema para eliminar arvenses más común es el uso del glifosato representando el 25% del mercado global de herbicidas; este químico una vez entra en la planta impide metabolizar y por lo tanto no crecen (Monsanto, 2015). Los organismos internacionales oficiales establecieron niveles máximos de concentración de estos químicos debido a la presencia de residuos de estos en el ambiente (Satikas & Konidari, 2001). El glifosato es soluble en agua, transportándose fácilmente en ecosistemas acuáticos; adicionalmente, se enlaza fuertemente con algunos tipos de suelos (Battaglin, Rice, Focazio, Salmons, & Barry, 2009).

El siguiente estudio está organizado de tal manera que logra determinar los efectos negativos que causa la aplicación del Glifosato como mecanismo de control de arvenses sobre la salud humana y de los animales, así como presentar una revisión sistemática de la literatura de artículos científicos de intoxicación por herbicidas y repercusiones a la salud, determinando a su vez con alternativas con menor impacto ambiental para el control de arvenses, investigando los estudios realizados, dosis ideal y beneficios ambientales y financieros de una alternativa identificada como recomendada.

Capítulo 1. Objetivos

1.1.Objetivo General

Determinar los efectos negativos que causa la aplicación del Glifosato como mecanismo de control de arvenses sobre la salud humana y de los animales.

1.2.Objetivos Específicos

- Realizar una revisión sistemática de la literatura de artículos científicos de intoxicación por herbicidas y repercusiones a la salud
- Determinar alternativas con menor impacto ambiental para el control de arvenses.
- Determinar los estudios realizados, dosis ideal y beneficios ambientales y financieros de una alternativa identificada como recomendada.

Capítulo 2. Marco Conceptual y Teórico

Gracias al mecanismo de acción y debido que es un herbicida de amplio espectro, el glifosato es la molécula más efectiva en el control y erradicación de arvenses a nivel mundial y por ende la más vendida (Nivia, 2000); el ahorro en tiempo y en mano de obra hace que todos los agricultores siempre utilicen el glifosato.

Se hace necesaria la utilización de alternativas que permitan obtener los mismos resultados causando menos impacto ambiental y que afecte menos la salud de las personas y animales. Este trabajo permite conocer los efectos negativos que causa la aplicación del glifosato sobre la salud humana y de los animales y determinar posibles opciones que garanticen un control eficaz de las arvenses, obteniendo un ahorro en dinero y con menor impacto ambiental.

El detrimento de los recursos naturales es uno de los problemas de mayor importancia a nivel mundial, y el uso irracional de productos agroquímicos en la agricultura es un factor de gran impacto en este sentido, la falta de control y vigilancia de parte de los organismos autorizados para este fin, la falta de conciencia y de capacitación de los agricultores, el afán de producir más cantidad y en menor tiempo son las causas más importantes de este problema.

Se hace necesario la búsqueda de alternativas que permitan seguir produciendo alimentos de calidad sin deteriorar el medio ambiente; una de las razones más importantes de la realización de esta monografía es presentar alternativas que minimicen o eliminen el detrimento de los recursos naturales partiendo de la premisa que la utilización de elementos químicos necesariamente genera daños en el entorno ambiental y puede afectar seriamente a la población

que esté directamente vinculada a las fumigaciones. Se utilizan muchos químicos sin pleno conocimiento de la sociedad, que ingresan al país a través de acuerdos secretos, lo cual produce desconfianza en las medidas que adopta el gobierno para combatir los cultivos ilícitos (Ecoportal.net, 2001).

Según estudios de la Organización Internacional de las Uniones de Consumidores, describen que cada cuatro horas muere un agricultor por intoxicación aguda debida a plaguicidas, es decir 10.000 defunciones por año aproximadamente, asociándose adicionalmente con el 14 % de las lesiones ocupacionales en el área rural (Idrovo, 2000). Adicionalmente, a todas las secuelas clínicas como la asociación con cáncer (Organización Mundial Para la Salud, 2015), también se presentan consecuencias sociales, como el desplazamiento de la población afectada, aparición de cultivos ilícitos en otras zonas del país y daños al ecosistema (Sanchez Ramirez, 2005). Lo anterior respalda la importancia de la discusión y la necesidad de ampliar los conocimientos acerca de las repercusiones de este químico en la salud humana y de los animales.

Habitualmente las plantas arvenses son denominadas como malas hierbas. Pujadas y Hernández (1988) las definen como plantas que crecen siempre o de forma predominante en situaciones marcadamente alteradas por el hombre y que resultan no deseables por él en un lugar y momento determinado, adicionalmente se consideran como especies que interfieren con los objetivos de los seres humanos (Radosevich, Holt, & Ghera, 1997); para otros autores, estas especies se deben considerar de acuerdo a las características biológicas que comparten (Radosevich, Holt, & Ghera, 2007), destacándose la auto-compatibilidad, la posibilidad de polinización cruzada mediada por el viento (anemofilia), por un número elevado de insectos, la dormición de las semillas, la longevidad del banco de semillas, un periodo de germinación

dilatado en el tiempo o una alta tasa de crecimiento relativo en el estado de plántula (Radosevich, Holt, & Ghera, 2007).

Las plantas arvenses deben reconocerse como un elemento propio de la agricultura y a los agrosistemas implicados en ella (Marshall, et al., 2003); el estudio de estas especies se ha centrado en el efecto negativo para la producción del cultivo, considerándose adicionalmente en un contexto amplio la relación entre la abundancia y la diversidad de estas especies con parámetros funcionales (Petit, Boursault, Le Guilloux, Munier-Jolain, & Reboud, 2011).

Estas hierbas malas constituyen la mayor parte de la biodiversidad vegetal en los sistemas agrarios, donde se siembran generalmente con una única variedad de cultivo y donde una zona acoge una reducida diversidad de cultivos (Dornelas, Moonen, Magurran, & Bàrberi, 2009) (Médiène, et al., 2011), cuando estas se encuentran presentes, pueden afectar el rendimiento en los cultivos al rivalizar con estos por los recursos como el agua, la luz y los nutrientes (Oerke, 2006).

Por otra parte, se han definido a los contaminantes como sustancias que se introducen en el ambiente por las actividades humanas, produciendo efectos nocivos sobre los individuos y sobre los demás componentes del ecosistema (Harte, Holdren, Schneider, & Shirley, 1991); entre los tóxicos se encuentran compuestos de diversa naturaleza, tales como plaguicidas, metales pesados, solventes y gases, entre otros.

Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies de plantas o animales indeseables en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, incluyendo las sustancias

destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas para proteger el producto que se pretende producir (FAO, 2018).

Los plaguicidas antes de salir al mercado pasan por el proceso de la formulación, durante el cual los ingredientes activos son mezclados con otras sustancias como solventes, coadyuvantes y otras, denominadas como “ingredientes inertes”, sobre las cuales no se da información en las etiquetas y que en muchos casos son sustancias activas biológica, química o toxicológicamente, que pueden conferir a las formulaciones comerciales, características diferentes a las encontradas en cualquiera de los componentes por separado. Esto significa que si no se revisan y reconocen las pruebas toxicológicas con los plaguicidas comerciales, como se usan realmente, es imposible evaluar con seguridad sus riesgos sobre el ambiente y la salud de las personas (Navas, 2014).

Por otra parte, los herbicidas son compuestos con propiedades físico-químicas que facilitan su entrada a la célula de la planta, utilizados para combatir el desarrollo de plantas no deseadas, denominadas comúnmente como malezas (Nicholls & Altieri, 1997), estas malezas reducen de manera importante la productividad de las plantas de cultivo debido a que compiten por el agua, los nutrientes y la luz, albergando adicionalmente enfermedades e insectos (Franz, Mao, & Sikorski, 1997).

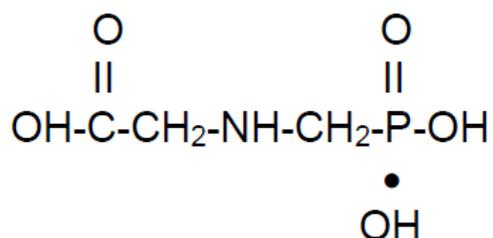
Para la aplicación de los herbicidas, existen dos maneras técnicas, la primera directamente al Suelo denominadas como pre-emergentes y/o la segunda directamente a la planta conocida técnicamente como post-emergentes (Franz, Mao, & Sikorski, 1997). Las pre-emergentes se aplican sobre o dentro del suelo atacando las malezas a medida que crecen o germinan y los post-emergentes se aplican a las hojas u otra parte de las plantas que ya han emergido del suelo (Franz, Mao, & Sikorski, 1997). Por otra parte, los herbicidas de contacto matan sólo aquella parte de la planta que ha entrado en contacto con el herbicida, matando rápidamente las partes de la planta

afectadas; Por el contrario, los herbicidas sistémicos son más lentos en su acción, actuando a través del sistema vascular de la planta, siendo más efectivo en la destrucción total de malezas (Franz, Mao, & Sikorski, 1997).

Uno de los herbicidas considerados en la actualidad como el más utilizado y eficaz en el mundo es el glifosato (N-fosfonometil glicina), este pertenece al grupo de los herbicidas organofosforados (Woodburn, 2000), su fórmula molecular es C₃H₈NO₅P (Gimsing & Dos Santos Afonso, 2005) y su fórmula estructural es:

Ecuación 1.

Fórmula molecular



Fuente: (Thomson, 1993)

El glifosato es un herbicida de amplio espectro de actividad hacia las plantas, que es utilizado tanto en áreas agrícolas como no agrícolas para eliminar malezas indeseables, pastos anuales y perennes, hierbas de hoja ancha, plantas herbáceas, entre otras especies (Goldsborough & Brown, 1988). Los métodos representativos de aplicación del glifosato en su uso comercial involucran el rociado de soluciones acuosas con equipos mecánicos, con rociadores de mano o utilizando avionetas de fumigación (Giesy, Dobson, & Solomon, 2000). Este herbicida es

absorbido por la planta a través de las partes aéreas, tallos y hojas, translocándose rápidamente a lo largo de toda la planta, adicionalmente, se acumula en las regiones meristemáticas actuando sobre el sistema enzimático, causando clorosis foliar seguida de necrosis, y la muerte de la planta, este proceso puede requerir de varios días o semanas (Franz, Mao, & Sikorski, 1997).

En Colombia, además de su uso como herbicida en la agricultura, se usa también como desecante de granos y por vía aérea como madurante en la caña de azúcar y en los programas de erradicación de cultivos ilícitos, erradicando simultáneamente cultivos alimenticios y especies silvestres, sin que se hayan estudiado los verdaderos impactos de su utilización sobre la salud de las personas y el medio ambiente (Nivia, 2000).

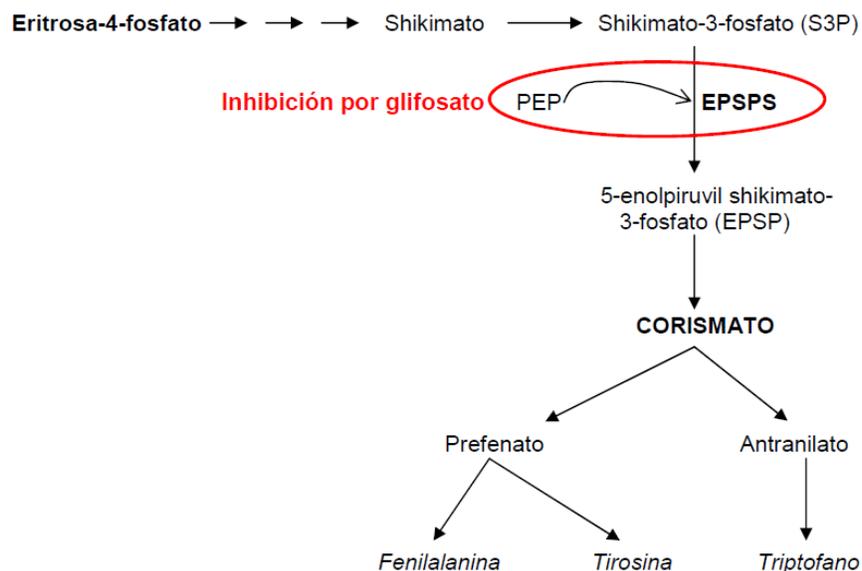
El glifosato inhibe una enzima cloroplástica de la vía metabólica del shikimato para la biosíntesis de corismato (ver Ilustración 1); la EPSPS cataliza la reacción entre el shikimato-3-fosfato (S3P) y el fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato (EPSP) (Giesy, Dobson, & Solomon, 2000). El glifosato actúa como un inhibidor impidiendo la síntesis de corismato, este último requerido para la biosíntesis de una amplia variedad de metabolitos aromáticos de las plantas (Giesy, Dobson, & Solomon, 2000). Este herbicida provoca la inhibición de la síntesis de aminoácidos aromáticos, seguida de la reducción en la síntesis de proteínas (Salisbury & Ross, 1994), además disminuye el crecimiento y muerte celular prematura (Lydon & Duke, 1988).

Adicional a su principal de acción, se sabe que el glifosato perjudica un número de estructuras celulares y otros procesos como la disrupción de cloroplastos, membranas y paredes celulares, altera la síntesis de ácidos nucleicos, la fotosíntesis y la respiración, y reduce la síntesis de clorofilas y compuestos que contienen porfirinas (Ali & Fletcher, 1978) (Campbell, Evans, &

Reed, 1976) (Hernando, Royuela, Muñoz-Rueda, & Gonzalez-Murua, 1989) (Schaffer & Sebetich, 2004).

Ilustración 1.

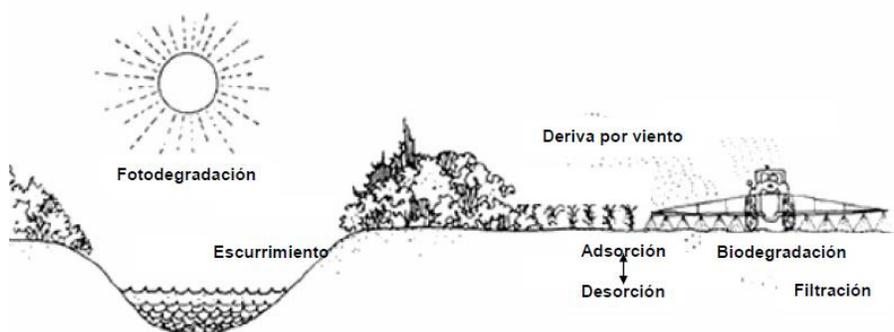
Esquema de la vía metabólica del shikimato y mecanismo de acción del glifosato en plantas



Fuente: (Giesy, Dobson, & Solomon, 2000)

Ya que existen diferentes tipos de aplicación del glifosato y de acuerdo a las condiciones ambientales existentes en las zonas donde se aplicará el producto, una cantidad de residuos del herbicida alcanza el suelo uniéndose con los componentes de estos, transportados en las zonas de contactos, degradándose por diferentes mecanismos como se observa en la Ilustración 2, absorbiéndose de manera rápida y fuerte en el suelo (Franz, Mao, & Sikorski, 1997) a través de su ácido fosfónico, libereando el glifosato de las partículas del suelo (Sprankle, Meggitt, & Penner, 1975a) (Sprankle, Meggitt, & Penner, Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil, 1975b), interactuando con este y formando fuertes complejos con metales disueltos, óxidos de metal y arcillas (Gimsing & Dos Santos Afonso, 2005).

Ilustración 2.
Posibles interacciones del glifosato



Fuente: (Franz, Mao, & Sikorski, 1997)

De acuerdo a las propiedades físico-químicas del medio acuático, la filtración del glifosato a través del suelo puede ser o no eficaz (Gimsing & Dos Santos Afonso, 2005) (Glass, 1987) y debido a su alta afinidad por las partículas del suelo, se concluye que su movilidad en los suelos blanco, ya sea por filtración o escurrimiento hacia aguas subterráneas o superficiales, respectivamente, es pequeño (Duke, Baerson, & Rimando, 2003); no obstante, en un estudio realizado por Maitre et al. (2008) se detectó una posible contaminación de los suelos debía a la capacidad de desorción en suelos, permitiendo precipitaciones abundantes y grandes filtraciones.

Dependiendo de la capacidad de adsorción y el nivel de actividad microbiana del suelo la permanencia del glifosato puede tener una vida media de días hasta años (Carlisle & Trevors, 1988) (Eberbach, 1998). Adicionalmente, un estudio realizado por Tortensson (1985) determinó que la vida media del herbicida podía estar entre 3 días y 22,8 años.

Marrs et al. (1993) mencionan que el glifosato puede llegar indirectamente a los sistemas acuáticos debido a una aplicación accidental o por efecto de los vientos de la zona; un estudio

realizado por Edwards et al. (1980) concluyó que se encontraron grandes cantidades de glifosato en la esorrentía de precipitaciones naturales luego de la aplicación de este herbicida en los suelos de campos de cultivo, determinando una concentración de glifosato en agua de 6,9 mg i.a./litro, un día después de la aplicación del herbicida se encontró una tasa mayor de 8,6 kg/ha.

El glifosato también afecta sistemas enzimáticos en animales y humanos. En ratas, cuando se les inyectó en el abdomen en un estudio, disminuyó la actividad de dos enzimas detoxificantes, el citocromo P-450 y una monooxigenasa; también disminuyó la actividad intestinal de otra enzima detoxificante, la aril hidrocarbano hidroxilasa (Samsel & Seneff, 2013). Formulaciones más tóxicas de glifosato. Se denomina toxicidad al grado de efectividad que poseen las sustancias que, por su composición, se consideran tóxicas. Se trata de una medida que se emplea para identificar al nivel tóxico de diversos fluidos o elementos, tanto afectando un organismo en su totalidad (Universidad Nacional Litoral, 2010).

De acuerdo con investigaciones en invernaderos en Maryland (Estados Unidos) y de campo en Hawái, llevados a cabo entre 1995 y 1997, y con la adición de dos surfactantes, AL77 y Optima, al glifosato en la formulación Rodeo, se incrementó cuatro veces la toxicidad del glifosato a la coca, comparado con la fórmula comercial Roundup: 1.1 kg/ha de glifosato comercial (Nivia, 2000). Supuestamente, de acuerdo con este estudio, la mezcla del herbicida actualmente usada en Colombia para los programas de erradicación de la coca habría sido modificada, con "excelentes" resultados. Este supuesto cambio de fórmula coincide con denuncias de las comunidades afectadas, en el sentido de que se están causando más daños a pastos y cultivos alimenticios, y también son más graves los síntomas de intoxicaciones (Walsh, Sánchez, & Salinas, 2008). En realidad, no se conoce exactamente qué formulación se están utilizando. Los dos nuevos surfactantes propuestos tienen la siguiente composición (Nivia, 2000):

- AL77: Mezcla 1:1 en volumen de Agri-Dex y Silwet L-77.
- Agri-Dex: mezcla de derivados polietoxilados de petróleo con base en parafina, de alto peso, y emulsificantes con base en sorbitan éster.
- Silwet L-77: polialkileneoxido-modificado heptametiltrisiloxano.
- OPTIMA: mezcla de alquil aminas polietoxiladas [C8-C18], alquil polioxietilen glicoles, y ácidos orgánicos

Capítulo 3. Resultados

Para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos propuestos en esta investigación se desarrollan una serie de investigaciones con el fin de encontrar conclusiones que aporten a la situación real del sector, logrando contribuir en el uso de productos que favorezcan al medio ambiente y a la población en general.

3.1.Efectos sobre la salud.

Diferentes autores han realizado estudios para determinar los efectos negativos del glifosato, con el fin de soportar la necesidad de buscar productos sustitutos.

3.1.1. Toxicidad aguda. Los plaguicidas que contienen glifosato, están registrados en Colombia en la clase toxicológica IV, levemente tóxicos, basados en la DL50 oral a ratas del ingrediente activo, considerada mayor de 5.000 mg/kg (anteriormente se consideraba de 4.320 mg/kg, clase toxicológica III). Pero en Estados Unidos estos herbicidas ya han sido reclasificados por la Agencia de Protección Ambiental EPA en la clase II, altamente tóxicos, por ser irritantes de los ojos (Varona, et al., 2009). La EPA lo tiene clasificado como un irritante medio, pero la Organización Mundial de la Salud ha encontrado efectos más serios; en varios estudios con conejos fue calificado como "fuertemente" irritante o "extremadamente" irritante. El ingrediente activo glifosato solo está clasificado en categoría I, extremadamente tóxico (Ardila, 2009).

Tanto el glifosato solo como los productos que lo contienen son más tóxicos por vía dermal e inhalatoria que por ingestión, las vías comunes en la exposición ocupacional (Nivia,

2000). En varios ensayos, la inhalación de glifosato en ratas causó signos de intoxicación en todos los grupos estudiados y aún en las concentraciones más bajas probadas. Los síntomas incluyeron secreción nasal oscura, jadeo, ojos congestionados, actividad reducida, pelo erizado, pérdida de peso corporal y los pulmones se encontraron congestionados con sangre (Nivia, 2000).

El Roundup está en varios países entre los primeros plaguicidas que causan incidentes de envenenamiento en humanos. La mayoría de éstos han involucrado irritaciones dermales y oculares en trabajadores, después de exposición durante la mezcla, cargue o aplicación. También se han reportado náuseas y mareos después de la exposición, así como problemas respiratorios, aumento de la presión sanguínea y reacciones alérgicas (Nivia, 2002).

En casos de envenenamientos estudiados por médicos japoneses, la mayoría de ellos por ingestión accidental o intencional de Roundup, pero también por exposiciones ocupacionales, se reportó que los síntomas de envenenamiento agudo pueden incluir dolor gastrointestinal, pérdida masiva de líquido gastrointestinal, vómito, exceso de fluido en los pulmones, congestión o disfunción pulmonar, neumonía, pérdida de conciencia y destrucción de glóbulos rojos, electrocardiogramas anormales, baja presión sanguínea y daño o falla renal (Ardila, 2009).

Gran parte de estos síntomas están actualmente siendo padecidos por los indígenas Yanaconas habitantes del Macizo Colombiano en el Departamento del Cauca en Colombia, particularmente niños, quienes están recibiendo fumigaciones indiscriminadas sobre casas de habitación, escuelas y personas trabajando en los campos de cultivo (adicionalmente se están destruyendo los pastos de los que depende la alimentación de los animales, y cultivos de papa, maíz, cebolla, ullucos, cilantro y otros, de los que depende la sobrevivencia de estas comunidades) (Castañeda, 2010).

Se ha considerado que el surfactante que lleva el Roundup es el causante principal de la toxicidad de esta formulación. El POEA tiene una toxicidad aguda más de tres veces mayor que la del glifosato, causa daño gastrointestinal y al sistema nervioso central, problemas respiratorios y destrucción de glóbulos rojos en humanos. Además, está contaminado con 1-4 dioxano, el cual ha causado cáncer en animales y daño a hígado y riñones en humanos (Tolón & Lastra, 2009). La EPA ha encontrado que exposiciones a residuos de glifosato en aguas de consumo humano por encima del límite máximo autorizado de 0.7 mg/l, pueden causar respiración acelerada y congestión pulmonar (Nivia, Fumigaciones sobre cultivos ilícitos contaminan el ambiente colombiano, 2001).

3.1.2. Toxicidad crónica. El glifosato también se ha encontrado tóxico a largo plazo en estudios con animales. Con dosis altas en ratas (900-1.200 mg/kg/día), se ha reportado disminución del peso del cuerpo en hembras; mayor incidencia de cataratas y degeneración del cristalino en machos y mayor peso del hígado en machos. En dosis bajas (400 mg/kg/día) ocurrió inflamación de la membrana mucosa estomacal en los dos sexos (Labrador, Prada, Rengifo, Lapuente, & Céspedes, 2012).

En ratones con dosis altas (alrededor de 4.800 mg/kg/día) se presentó pérdida de peso del cuerpo, excesivo crecimiento y posterior muerte de células hepáticas particulares e inflamación crónica de los riñones en machos; en hembras ocurrió excesivo crecimiento de células de los riñones. A dosis bajas (814 mg/kg/día) se presentó excesiva división celular en la vejiga urinaria (Nivia, 2001). Para la EPA, exposiciones continuadas a residuos en aguas en concentraciones por encima de 0.7 mg/L pueden causar daño renal (Piñeros & Quintero, 2008).

3.1.3. Efectos reproductivos. En pruebas de laboratorio con ratas y conejos el glifosato afectó la calidad del semen y la cantidad de espermatozoides (Ardila, 2009). De acuerdo con la EPA, exposiciones continuadas a residuos en aguas en concentraciones por encima de 0.7 mg/L pueden causar efectos reproductivos en seres humanos (Piñeros & Quintero, 2008).

3.1.4. Acción cancerígena. La EPA tuvo inicialmente clasificado al glifosato como clase “D”: “no clasificable como carcinógeno humano”. Posteriormente, a comienzos de la década de 1990, lo ubicó en clase “C”: “Posible carcinógeno humano. Actualmente lo tiene clasificado como Grupo E, "evidencia de no carcinogénesis en humanos" (Nivia, 2000). Cuando se emitió esta clasificación se añadió que la clasificación se basaba en la evidencia disponible hasta el momento y que no debía ser interpretada como una conclusión definitiva de que el producto no fuera un carcinógeno en cualquier circunstancia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). Esta afirmación probablemente se debió a que el potencial del glifosato para causar cáncer ha estado sujeto a controversia desde los primeros estudios a comienzos de la década de 1980 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015).

El primer estudio (1979-1981) encontró un incremento en tumores testiculares intersticiales en ratas machos a la dosis más alta probada (30 mg/kg/día), así como un incremento en la frecuencia de un cáncer de tiroides en hembras (Ardila, 2009). El segundo estudio (completado en 1983) encontró incrementos relacionados con la dosis en la frecuencia de un tumor renal raro. Otro estudio (1988-1990) encontró un incremento en el número de tumores de páncreas e hígado en ratas machos, junto con un incremento en el mismo cáncer de tiroides encontrado anteriormente en hembras (Ardila, 2009). Todos estos tumores no fueron considerados por la EPA relacionados con el compuesto: o se afirmaba que no había significancia estadística, que no era posible distinguir consistentemente entre los tumores de la tiroides y el

cáncer, que no había tendencia relacionada con la dosis o que no había progresión a la malignidad (Ardila, 2009).

Las dudas sobre el potencial carcinogénico del glifosato persisten, porque este ingrediente contiene el contaminante N-nitroso glifosato (NNG) a 0.1 ppm o menos, o este compuesto puede formarse en el ambiente al combinarse con nitrato (presente en saliva humana o fertilizantes), y es conocido que la mayoría de compuestos N-nitroso son cancerígenos (Ardila, 2009). Y no existe nivel de seguridad frente a sustancias cancerígenas. Adicionalmente, en el caso del Roundup el surfactante POEA está contaminado con 1-4 dioxano, el cual ha causado cáncer en animales y daño a hígado y riñones en humanos. El formaldehído, otro carcinógeno conocido, es también otro producto de descomposición del glifosato (Ardila, 2009).

3.1.5. Acción mutagénica. Ninguno de los estudios sobre mutagénesis requeridos para el registro del glifosato ha mostrado acción mutagénica. Pero los resultados son diferentes cuando los estudios se realizan con formulaciones comerciales a base de glifosato: en estudios de laboratorio con varios organismos se encontró que el Roundup y el Pondmaster (otra formulación) incrementaron la frecuencia de mutaciones letales recesivas ligadas al sexo en mosca de la fruta; el Roundup en dosis altas, mostró un incremento en la frecuencia de intercambio de cromátidas hermanas en linfocitos humanos y fue débilmente mutagénico en la bacteria *Salmonella*. También se ha reportado daño al DNA en pruebas de laboratorio con tejidos y órganos de ratón (Varona, et al., 2009).

3.1.6. Efectos ambientales. Dosis subletales de glifosato arrastradas por el viento (deriva) dañan flores silvestres y pueden afectar algunas especies a más de 20 metros del sitio asperjado. Al aplicar un plaguicida la deriva es inevitable y dependerá de varias circunstancias, entre ellas la forma de aplicación, terrestre o aérea; la velocidad del viento. Las distancias medidas para las diferentes técnicas de aplicación son las siguientes (López & Muñoz, 2018):

- Aplicaciones terrestres: entre 14% y 78% del glifosato aplicado sale del sitio. Especies sensibles murieron a 40 metros. Los modelos indican que especies susceptibles pueden morir a 100 metros. Se han encontrado residuos a 400 metros del sitio de aplicación terrestre (López & Muñoz, 2018).
- Aplicaciones con helicóptero: Entre 41% y 82% del glifosato aplicado con helicóptero se desplaza fuera del sitio. En un estudio en California se encontró glifosato a 800 m, la mayor distancia estudiada (López & Muñoz, 2018).
- Aplicaciones con avión: Con este sistema ocurre la deriva a mayores distancias. En un estudio en California el glifosato se encontró a 800 m, la mayor distancia estudiada (López & Muñoz, 2018).

En Canadá han calculado que las zonas buffer deben estar entre 75 y 1.200 m para evitar daños a la vegetación que se quiere proteger (Nivia, 2000).

3.1.7. Contaminación del suelo: El glifosato ha sido fabricado para ser aplicado directamente a las hojas de las plantas, pero "aunque el glifosato no se aplica directamente a los suelos, una concentración significativa del compuesto puede llegar al suelo durante una aplicación" (Haney, Senseman, Hons, & Zuberer, 1999).

La información sobre el movimiento y la persistencia del glifosato en suelos es variada. De acuerdo con la (Agencia de protección ambiental) EPA y otras fuentes, el glifosato que llega al suelo es fuertemente adsorbido, aún en suelos con bajos contenidos de arcillas y materia orgánica (Varona, et al., 2009). Por esto, aunque es altamente soluble en agua, se considera que es inmóvil o casi inmóvil, permaneciendo en las capas superiores del suelo, siendo poco propenso a la percolación y con bajo potencial de escorrentía, excepto cuando se adsorbe a material coloidal o partículas suspendidas en el agua de escorrentía (Varona, et al., 2009).

Varios investigadores afirman que el glifosato puede ser fácilmente desorbido en algunas clases de suelo, o sea que se puede soltar de las partículas pudiendo ser muy móvil en el ambiente del suelo. En un suelo, 80% del glifosato adicionado desorbió o se soltó en un período de dos horas (Nivia, 2001). Las pérdidas por volatilización o foto descomposición son insignificantes, pero es descompuesto por microorganismos, reportándose vidas medias en el suelo (tiempo que tarda en desaparecer la mitad de un compuesto del ambiente) de alrededor de 60 días (2 meses) según la EPA y de 1 a 174 días (casi 6 meses) para otros. Sin embargo, la EPA añade que en estudios de campo los residuos se encuentran a menudo al año siguiente (Moreno, 2008).

Existen estudios que hablan de una larga persistencia en suelos. Se considera que la degradación inicial es más rápida que la degradación posterior de lo que permanece, resultando en larga persistencia. La persistencia larga se ha encontrado en varios estudios, resultando en 249 días en suelos agrícolas y entre 259 a 296 días en ocho sitios forestales de Finnish; 335 días en un

sitio forestal de Ontario (Canadá); 360 días en tres sitios forestales en Columbia Británica (Canadá); y de 1 a 3 años en 11 sitios forestales de Suecia (Cooperativa de Trabajo la Minga, 2008).

No es fácil detectar residuos en laboratorio de sustancias altamente solubles en agua como el glifosato, tebuthiuron e imazapyr, porque en las pruebas de laboratorio se trabaja comúnmente con solventes orgánicos. De ahí que sean importantes las pruebas biológicas o siembra de cultivos susceptibles, los cuales pueden permitir detectar presencia de herbicidas cuando ya no se detecten residuos en laboratorio (Cooperativa de Trabajo la Minga, 2008).

3.1.8. Contaminación de aguas. El glifosato puede entrar en aguas superficiales cuando se aplica cerca de los cuerpos de agua, por efecto de la deriva o a través de la escorrentía. Puede haber un proceso de percolación hacia las aguas subterráneas. Dependiendo de los sólidos suspendidos y de la actividad microbiana, el glifosato puede transportarse varios kilómetros río abajo (CCME, 1989). El glifosato es altamente soluble en agua, con una solubilidad de 12 gramos/litro a 25°C.

De acuerdo con la EPA, puede entrar a ecosistemas acuáticos por aspersion accidental, por derivas o por escorrentía superficial. Debido a su estado iónico en el agua no se espera que se volatilice de aguas ni de suelos. Se considera que desaparece rápidamente del agua, como resultado de adsorción a partículas en suspensión como materia orgánica y mineral, a sedimentos y probablemente por descomposición microbial (Moreno, 2008).

Si se acepta que el glifosato se adsorbe fácilmente a partículas de suelo tendrá poco potencial para moverse a contaminar aguas superficiales y subterráneas. Pero si se desorbe o

suelta fácilmente de las partículas de suelo como se mencionó en el punto anterior la situación cambia (Nivia, 2000). Lo cierto es que el glifosato se ha encontrado contaminando aguas superficiales y subterráneas. Por ejemplo, contaminó por escorrentía dos estanques en granjas de Canadá, uno por un tratamiento agrícola y el otro por un derrame; contaminó aguas superficiales en Holanda; y siete pozos en Estados Unidos (uno en Texas y seis en Virginia) se encontraron contaminados con glifosato (Nivia, 2000).

Su persistencia en aguas es más corta que en suelos. En Canadá se ha encontrado que persiste de 12 a 60 días en aguas de estanques, pero persiste más tiempo en los sedimentos del fondo. La vida media en sedimentos fue de 120 días en un estudio en Missouri, Estados Unidos. La persistencia fue mayor de un año en sedimentos en Michigan y en Oregón (Ardila, 2009). En el Reino Unido, la Welsh Water Company ha detectado niveles de glifosato en aguas desde 1993, por encima de los límites permisibles fijados por la Unión Europea (Ardila, 2009).

3.1.9. Contaminación de alimentos. Los análisis de residuos de glifosato son complejos y costosos, por eso no son realizados rutinariamente por el gobierno en Estados Unidos. Pero existen investigaciones que demuestran que el glifosato puede ser tomado por las plantas y movido a las partes que se usan como alimento. Por ejemplo, se ha encontrado glifosato en fresas, moras azules, frambuesas, lechugas, zanahoria y cebada después de su aplicación (Ardila, 2009).

Su uso antes de la cosecha de trigo para secar el grano resulta en "residuos significativos" en el grano según la Organización Mundial de la Salud; el afrecho contiene residuos 2 a 4 veces mayores que el grano completo y no se pierden durante el horneado. Se han encontrado residuos

de glifosato en lechuga, zanahoria y cebada, sembrados un año después de que el glifosato fue aplicado (Cooperativa de Trabajo la Minga, 2008).

3.2.Efectos en animales

Adicional a los efectos sobre la salud, también el glifosato cuenta con estudios que evidencian afectación en animales, a continuación, se presentaran resultados que evidencian lo mencionado.

3.2.1. Insectos y otros artrópodos benéficos. El glifosato es tóxico a algunos organismos benéficos como avispas parasitoides y otros artrópodos predadores, a artrópodos del suelo importantes en su aireación y en la formación de humus; y a algunos insectos acuáticos (Becerra & Bravo, 2009). Los efectos dañinos del glifosato, ingrediente activo tóxico del herbicida Roundup de Monsanto, están teniendo consecuencias negativas sobre las abejas. De acuerdo con un nuevo estudio realizado por investigadores alemanes y argentinos, los insectos expuestos a esta sustancia sufren dificultades a la hora de regresar a casa (Ardila, 2009).

El estudio, titulado 'Efectos de dosis subletales de glifosato en la navegación de la abeja' y publicado en la revista 'Journal of Experimental Biology', presenta los efectos del glifosato utilizado en entornos agrícolas en la actividad de la abeja y revela que este retrasa el regreso de este insecto a la colmena (Bader, 2015). Las trayectorias de vuelo de las abejas también se vieron afectadas después de la exposición sucesiva al herbicida, lo que sugiere que la ingesta de glifosato durante la alimentación afecta al proceso de aprendizaje espacial de estos insectos (Bader, 2015).

Actualmente, el uso extendido de pesticidas y herbicidas termina afectando a diversos organismos que no son los destinatarios originales de esos productos. Por ejemplo, las abejas melíferas. En efecto, cuando ellas realizan su cotidiana recolección de polen y néctar, no pueden evitar la visita a aquellas flores que fueron alcanzadas por las fumigaciones. Un equipo de investigadores de Exactas-UBA determinó cambios en la conducta de estos insectos sociales, por ejemplo, dificultades para reconocer olores y memorizar la relación entre un olor y un néctar determinado (Gallardo, 2014).

“Aplicamos la dosis de herbicida que las mismas empresas y servicios agrícolas recomiendan usar, y trabajamos con abejas criadas en laboratorio y abejas de colmenas”, comenta Walter Farina, investigador del CONICET y profesor en el Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental de Exactas-UBA (Infocampo, 2014). “Quisimos conocer qué efectos podía tener el herbicida en variables de las conductas relacionadas con la obtención de recursos. Encontramos efectos sutiles en la sensibilidad gustativa de abejas expuestas a dosis mínimas de glifosato y en la forma en que establecían una asociación entre un olor y una recompensa”, explica Farina, cuyo trabajo fue publicado en *Journal of Experimental Biology*, junto con Lucila Herbert (primera autora), el estudiante Diego Vázquez y Andrés Arenas (Gallardo, 2014).

Hasta el momento, no había estudios que evaluaran el efecto de herbicidas en un organismo no blanco como la abeja, y en dosis subletales, es decir, cantidades que no llegan a provocar la muerte. “Nosotros no trabajamos con el formulado comercial, que tiene aditivos, sino con el principio activo, que es el glifosato” (Gallardo, 2014). Los investigadores realizaron diferentes experimentos: criaron abejas en laboratorio y también capturaron individuos en el apiario experimental. Luego, las entrenaron para buscar un alimento que presentaba trazas de glifosato, y las sometieron a ensayos de aprendizaje y memoria, o de sensibilidad gustativa. Por

último, cuantificaron lo que ingería cada individuo, su actividad locomotora y la mortalidad (Gallardo, 2014).

Según los investigadores, los resultados sugieren que la exposición al glifosato afecta el sistema nervioso de las abejas, al actuar en la percepción olfativa y gustativa, así como en la asociación entre un estímulo y una recompensa. “Esos individuos necesitaron más eventos de aprendizaje para establecer una memoria” (Gallardo, 2014). Ahora surgen numerosos interrogantes, por ejemplo, si las abejas expuestas al glifosato se verán afectadas en su respuesta al estrés producido por la presencia de parásitos o patógenos; o si la combinación de un pesticida con el glifosato puede tener un efecto sinérgico (Gallardo, 2014).

Por otra parte, la posibilidad de acumular reservas contaminadas podría ser una bomba de tiempo. En efecto, a largo plazo podría poner en riesgo la supervivencia de la colmena, porque, al afectar la percepción sensorial y la memoria, podría causar problemas en la coordinación entre los diferentes individuos de esa sociedad, pudiendo existir consecuencias que ahora no es posible determinar (Gallardo, 2014). El equipo está encarando nuevos estudios para determinar cómo se orientan las abejas en el campo si han ingerido glifosato. “Es un proyecto que estamos haciendo en cooperación con Alemania, que requiere trabajar con una tecnología muy avanzada, por ejemplo, radares armónicos y sensores que se le agregan a la abeja (Gallardo, 2014).

3.2.2. Peces y otros organismos acuáticos. Diferentes especies de peces tienen diferentes susceptibilidades al glifosato. Las toxicidades agudas en términos de la CL50 oscilan entre 3.2 a 52 ppm, lo cual significa toxicidad moderada. Pero el Roundup es unas 30 veces más tóxico a peces que el glifosato solo, o sea que es desde extremada a altamente tóxico a éstos organismos acuáticos (Piñeros & Quintero, 2008).

Hay factores que influyen en la toxicidad del glifosato y de productos que lo contienen, como a) la especie; b) la calidad del agua (el glifosato en aguas blandas puede ser unas 20 veces más tóxico a la trucha arco iris que en aguas duras); c) la edad también influye, por ejemplo el Roundup puede ser cuatro veces más tóxico a trucha arco iris en estados juveniles que en edades mayores; d) La nutrición influye en la toxicidad, siendo mayor cuando los peces están hambrientos; e) Respecto a la temperatura, la toxicidad aumenta al aumentar la temperatura, siendo mayor el efecto en especies acuáticas susceptibles a estos cambios (Ardila, 2009).

Subletales sobre peces también pueden ser significativos y ocurren a bajas concentraciones en el agua. Por ejemplo, en estudios con trucha arco iris y tilapia, concentraciones equivalentes a la mitad y a la tercera parte de la CL50 causaron nado errático y la trucha también mostró dificultad para respirar. Los cambios de comportamiento alteran su capacidad de alimentación, migración y reproducción y pierden capacidad de defensa (Duarte, Barragán, & Mocha, 2003).

3.2.3. Aves. El glifosato es moderadamente tóxico a aves. Además de efectos directos puede tener impactos indirectos porque mata plantas, por tanto, puede causar cambios dramáticos en la estructura de la comunidad de plantas afectando las poblaciones de aves, porque ellas dependen de las plantas para alimentarse, protegerse y anidar. Esto ha sido documentado con estudios de poblaciones expuestas (Ardila, 2009).

3.2.4. Pequeños mamíferos. En estudios de campo, poblaciones de pequeños mamíferos también se han visto afectadas a causa del glifosato, por muerte de vegetación que ellos o sus presas utilizan para alimentarse o protegerse (Nivia, 2000).

3.2.5. Lombrices de tierra. Un estudio en Nueva Zelanda mostró que el glifosato afecta significativamente el desarrollo y la sobrevivencia de una de las lombrices más comunes en sus suelos agrícolas. Aplicaciones cada 15 días en dosis bajas (1/20 de la dosis normal), redujeron el crecimiento e incrementaron el tiempo de madurez y la mortalidad (Ardila, 2009).

3.3.Efectos sobre plantas deseables

El glifosato, por ser herbicida de amplio espectro, tiene efectos tóxicos sobre la mayoría de especies de plantas. Afecta árboles y arbustos de los cercos y cultivos cercanos, e incrementa la susceptibilidad de los cultivos a enfermedades. Puede ser un riesgo para especies en peligro de extinción si se aplica en áreas donde ellas viven (Ardila, 2009). En un estudio el glifosato inhibió la formación de nódulos fijadores de nitrógeno en trébol durante 120 días después del tratamiento (Nivia, 2000).

3.4. Metodologías y estrategias para el control de arvenses.

Existen muchas las estrategias para el control de maleza, con el fin de reducir la población, para que no compitan con las plantas agrícolas por los nutrientes, favoreciendo el desarrollo y crecimiento del cultivo. Los métodos que comúnmente se usan son de tipo biológico, químico, cultural, directo, indirecto, mecánico, no químico, físico y métodos preventivos (Labrada & Parker, 1996) (Larimer County Colorado, 2015).

3.4.1. Métodos culturales de control de maleza. El objetivo principal de este método es reducir las especies no deseadas de plantas, aplicando estrategias como la rotación y cobertura de cultivos los cuales benefician al suelo volviéndolo más fértil y resistente a pestes, integrando técnicas como la solarización y el saneamiento, previniendo el desarrollo de la maleza (Finney & Creamer, 2010).

La rotación de cultivos es posiblemente el método de control de plagas, malezas y enfermedades más antiguo que se conoce (Asociación española agricultura de conservación, 2015) y consiste en sustituir las plantas de diferentes familias durante los ciclos de cosecha, evitando la erosión del suelo y la ocurrencia de enfermedades al cultivo; esta sustitución elimina el crecimiento y desarrollo de la maleza alterando los microambientes como la temperatura y humedad del suelo, inhibiendo la germinación de arvenses (Finney & Creamer, 2010) (Narwal & Haouala, 2013).

La rotación de cultivos se convierte en una práctica factible para mantener el equilibrio ambiental, mantiene la siembra saludable, generando el desarrollo sostenible en conjunto con la comunidades microbianas (Xuan, et al., 2011) (Suzuki, Takenaka, Oka, Nagaoka, & Karasawa, 2012). Esta metodología es un complemento ideal para la técnica de agricultura de conservación,

la cual consiste, en la reducción del número de operaciones en el cultivo y en el aprovechamiento de los residuos de la cosecha anterior, con el fin de cubrir al menos el 30% de la superficie del suelo con la menor remoción del suelo posible, evitando la erosión eólica e hídrica, disminuyendo la presencia de malezas (Brito, Martínez, & Socarrás, 2013).

Otro método cultural es el de cobertura de cultivos, el cual ofrece varios beneficios al sistema de cultivos orgánicos, protegiéndolo contra la erosión y mejorando la estructura del suelo, suprimiendo las malas hierbas (Finney & Creamer, 2010); este método mejora la retención de carbono y la calidad ambiental (Mhlanga, y otros, 2015).

3.4.2. Control químico. En los últimos quince años este método se ha implementado, implica un alto impacto ambiental y altera la salud humana por el uso de herbicidas en los cultivos, convirtiéndose en parte integral de la agricultura moderna ya que ofrece gran flexibilidad de operación y requiere de menos esfuerzo humano (Chauhan, Singh, & Mahajan, 2012) (Pannacci & Tei, 2014).

Este método de control proporciona una eficacia biológica y efectividad económica, pero a causa afectación al medio ambiente (Slaughter, Giles, & Downey, 2008), además puede llevar a la posibilidad de desarrollar malezas resistentes a los químicos, aumentando el riesgo de contaminación (Bates, Gallagher, Curran, & Harper, 2012). La aplicación de herbicidas es uno de las técnicas más populares para el control de arvenses, ofrece facilidad de operación ya que se requiere menos esfuerzo porque se pueden combatir malezas difíciles de controlar (Chauhan, Singh, & Mahajan, 2012). Las ventajas mencionadas anteriormente, son opacadas debido a que los componentes químicos afectan el crecimiento de las plantas, el tamaño, número de hojas y el

rendimiento del cultivo, contaminando adicionalmente el suelo y el agua presente en el lugar de la aplicación (Slaughter, Giles, & Downey, 2008).

3.4.3. Control mecánico. Este método presenta una mayor demanda a nivel global, ya que aporta una solución para el control de arvenses de forma eficiente, donde antes se trabajaba con químicos, reduciendo la inversión de mano de obra (Melander, Lattanzi, & Pannacci, 2015); sin embargo, este método afecta a las plantas silvestres promueve la germinación de las especies vegetales y afecta la supervivencia y competencia de esta (Lundkvist & Verwijst, 2011). Para aplicar este método se deben usar diferentes herramientas para trabajar en distintas formas el cultivo, afectando positiva y negativamente el control y desarrollo de la maleza.

3.4.4. Cultivos por hilera. Esta técnica ha involucrado el estudio de varias estrategias para una eficiente reducción de plantas no deseadas, como lo son deshierbadores de cepillo, deshierbadores de araña y deshierbadores de torsión (Fogelberg & Kritz, 1999), no obstante, estas estrategias tienen sus limitaciones, ya que se requieren de personas especializadas en el uso de la maquinaria, debido a que el uso inadecuado de esta maquinaria, resultaría en fallas de control y potencial daño al cultivo (Melander, Lattanzi, & Pannacci, 2015).

3.5. Alternativa recomendada

Entre las opciones presentadas se elige el control químico, aunque se presenta desventajas, en la actualidad existen productos que disminuyeron los impactos negativos al medio ambiente y animales; la opción Fossil SL 480 + Ciclón H por su comportamiento eficaz y bajo impacto con

el medio ambiente, a continuación, se presentan resultados de los estudios realizados. EL Ciclón H, es un producto optimizador 100% orgánico, netamente biodegradable y amigable con el medio ambiente, sin ninguna restricción, producido a partir de procesos de nanotecnología.

Las moléculas de glifosato se encuentran de forma apiladas, como un racimo de uvas lo que dificulta la penetración del I.A a la planta, perdiéndose el 70% del mismo. Ciclón H al entrar en contacto con la molécula de glifosato, tiene la particularidad de fraccionar las moléculas de glifosato facilitando la penetración y reduciendo los desperdicios, además de adicionar carbono al I.A evitando la oxidación del mismo.

3.5.1. Pruebas de Campo Fossil SL 480 + Ciclón H.

En las localidades presentadas en la Tabla 1 se realizaron las pruebas de campo para evaluar el comportamiento del producto.

Tabla 1.

Localidades de pruebas de campo

LOCALIDAD
Venadillo – Tolima
Lérida – Tolima
Espinal – Tolima
Saldaña – Tolima
Villavicencio – Meta
Palmira – Valle
Candelaria – Valle
Caicedonia – Valle
Montería – Córdoba

Fuente: (Tecnoquímicas S.A., 2015)

3.5.2. Tratamientos en Campo Fossil SL 480 + Ciclón H. Partiendo de una base promedio de aplicación de Glifosato 480, de 4 lt / ha, con la adición del producto acompañante (Ciclón H), en una relación de 1 a 10 con el ingrediente activo del producto aplicado, se evaluaron los siguientes tratamientos (Tecnoquímicas S.A., 2015):

Tabla 2. *Tratamiento en Campo Fossil*

TRAT.	PRODUCTO	DOSIS	
1	Testigo		
2	Fossil SL 480	4 litros/ha	
3	Fossil SL 480 + Ciclón H	2,8 litros/ha + 134,4 cc/ha	Dosis del 70%
4	Fossil SL 480 + Ciclón H	2 litros/ha + 96 cc/ha	Dosis del 50%
5	Fossil SL 480 + Ciclón H	1,6 l/ha + 76,8 cc/ha	Dosis del 40%
6	Fossil SI 480 + Ciclón H	1,2 litros/ha + 57,6 cc/ha	Dosis del 30%

Fuente: (Tecnoquímicas S.A., 2015)

3.5.3. Variables a evaluar en campo.

- Variables evaluadas: Cultivo de arroz (Densidad: Numero de arvenses / cuadro de 25 cm², efecto: % de efecto del producto (Tecnoquímicas S.A., 2015).
- Ubicación de las pruebas: Finca 1: Lote Alberca, Finca El Molino, Vereda Palobayo, Municipio de Venadillo – Tolima, Cultivo de Arroz, Variedad Fedearroz 2000, Aplicación 27 de Junio de 2014 (Tecnoquímicas S.A., 2015).

- Finca 2: Villa Isabel, Vereda Tajo Medio, Municipio de Ambalema – Tolima, Cultivo de Arroz,
- Variedad Fedearroz 2000, Aplicación 27 de junio de 2014.
- Fecha de Aplicación: Aplicación tratamientos 27 de junio del 2014
- Fecha de evaluaciones: Evaluación previa, viernes 27 de junio del 2014
- Primera evaluación miércoles 2 de Julio del 2014
- Segunda evaluación lunes 7 de Julio del 2014
- Tercera evaluación sábado 12 de Julio del 2014
- Cultivo y variedad: Cultivo de arroz, Fedearroz 2000.

Figura 1. Metodología de Evaluación De Fossil SL 480 + Ciclón H



Fuente: (Tecnoquímicas S.A., 2015)

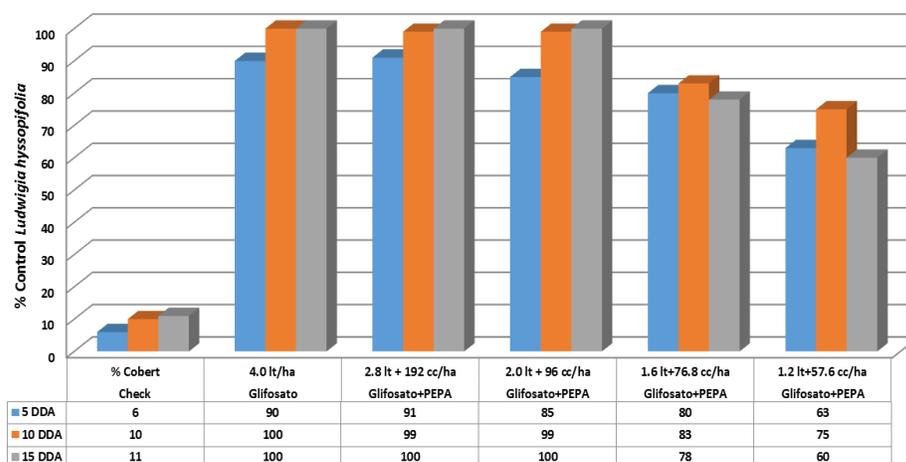
En la *Figura 2* se presenta la evidencia del efecto del uso del Fossil al 100%, al 50 % y la combinación de Fossil 50% + Ciclón H y en la *Figura 3* se presentan los resultados del Control de *Stemodia Durantifolia*.

Figura 2. Porcentaje de Control de *Ludwigia Hyssopifolia*



Fuente: (Tecnoquímicas S.A., 2015)

Figura 3. Porcentaje de Control de *Stemodia Durantifolia*



Fuente: (Tecnoquímicas S.A., 2015)

En conclusión, el análisis estadístico de los datos mostró que la dosis de Fossel SL 480 al 50% + Ciclón H tuvo el mismo control que Fossel SL 480 al 100%.

Figura 4. Resultados de aplicación Fossel 100% y Fossel 50% +Ciclón H



Fuente: (Tecnoquímicas S.A., 2015)

Conclusiones

El uso de herbicidas es la práctica más común y eficiente para eliminar los arvenses de los cultivos agrícolas, sin embargo, se presentan estudios que afectan las fuentes hídricas, la flora y la fauna.

Constantemente se están generando productos químicos ideales para la eliminación de hierbas indeseadas que impactan cada vez menos con el medio ambiente, no obstante, faltan muchos más estudios para lograr un producto ideal para mejorar las condiciones de los cultivos, mejorando al mismo tiempo las características del suelo.

Existen una serie de metodologías para la eliminación de arvenses, algunas de manera artesanal con un impacto mínimo en el medio ambiente y en algunos casos aportando beneficios al ecosistema, otros usando químicos, que si bien son más eficientes son más contaminantes y perjudiciales y, por último, se usan métodos mecánicos para la eliminación, siendo este último un método de costos elevados y que no todas las personas tienen acceso.

El producto químico Fossil SL 480 + Ciclón H de Tecnoquímicas, demuestra una alta efectividad en la eliminación de los arvenses y presenta resultados positivos frente a una baja afectación al medio ambiente, siendo este producto una opción importante para los agricultores, brindándoles todas las capacidades que se requieren para eliminar las hierbas indeseadas mitigando el impacto ambiental.

Recomendaciones

Tecnoquímicas S.A ha desarrollado un producto 100% orgánico, netamente biodegradable y amigable con el medio ambiente, Ciclón H, que al ser mezclado con Fossil SL 480, cuyo ingrediente activo es el glifosato, lo optimiza permitiendo que este funcione a una dosis del 50% con el que habitualmente funciona el glifosato.

Con Fossil SL 480, las moléculas del ingrediente activo se encuentran de forma apilada, como un racimo de uvas, lo que dificulta la penetración del ingrediente activo a la planta, cuando Fossil SL 480 es aplicado estas moléculas se oxidan perdiendo parte del ingrediente activo.

Fossil SL 480 + Ciclón H, tiene la particularidad de fraccionar las moléculas de glifosato, facilitando la penetración y reduciendo los desperdicios; Ciclón H adiciona carbono evitando la oxidación del glifosato, controlando con la misma dosis el doble de las hectáreas.

Cuando ciclón H entra en contacto con Fossil SL 480 establece una unión eléctrica mediante enlaces covalentes, esta unión, no transforma la molécula de glifosato, pero tan pronto Ciclón H se une con Fossil SL 480, este bloquea la capacidad del ingrediente activo de atraer el oxígeno evitando su oxidación.

Cuando Fossil SL 480 + Ciclón H es reconocido por la planta, se absorbe mediante mecanismos naturales y se transporta a diferentes tejidos a través de sus sistemas vasculares (Xilema y Floema), este se trasloca atravesando la membrana celular, ubicándose en puntos específicos en donde se activa el mecanismo de acción de Fossil SL 480, causando la muerte de la arvense.

Entre los beneficios más importantes que Fossil SL 480 + Ciclón H ofrece, encontramos que con la misma dosis que habitualmente se utiliza de glifosato se pueden controlar el doble de las hectáreas, lo que conlleva a una mejor rentabilidad; pero el beneficio más importante radica en la reducción del impacto ambiental ya que la carga de ingrediente activo aplicando Fossil SL 480 + Ciclón H se reduce a la mitad, además la degradación microbiana en el suelo se hace de manera más rápida por la presencia de carbono en la molécula. (Tomado de presentación de Fossil SL 480 + Ciclón H, de Tecnoquímicas SA).

Referencias

- Ali, A., & Fletcher, R. (1978). Phytotoxic action of glyphosate and amitrole on corn seedlings. *Canadian Journal of Botany*, 2196–2202.
- Ardila, G. (2009). *Efectos del glifosato sobre la ganancia de peso y el crecimiento en alevinos de yamú, Brycon amazonicus*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Asociación española agricultura de conservación. (2015, Enero 6). *Suelos Vivos (AEAC/SV)*. Retrieved from <http://www.agriculturadeconservacion.org>
- Bader, H. (2015, Septiembre 19). *Los devastadores productos de Monsanto se ceban ahora con las abejas*. Retrieved from <https://actualidad.rt.com/sociedad/186357-abejas-monsanto-muerte>
- Bates, R., Gallagher, R., Curran, W., & Harper, J. (2012). Integrating Mechanical and Reduced Chemical Weed Control in Conservation Tillage Corn. *Agronomy Journal*, 507-517.
- Battaglin, W., Rice, K., Focazio, M., Salmons, S., & Barry, R. (2009). The occurrence of glyphosate, atrazine, and other pesticides in vernal pools and adjacent streams in Washington, DC, Maryland, Iowa, and Wyoming. *Environmental Monitoring and Assessment*, 281-307.
- Becerra, T., & Bravo, L. (2009). *Desarrollo en espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores*. Almería: Universidad de Almería.

- Brito, J., Martínez, J., & Socarrás, I. (2013). Impacto ambiental de la introducción de un prototipo agrícola para la labranza de conservación. *Desarrollo Local Sostenible (DELOS)*, 1-14.
- Campbell, W., Evans, J., & Reed, S. (1976). Effects of glyphosate on chloroplast ultrastructure of quackgrass mesophyll cells. *Weed Science*, 22–25.
- Carlisle, S., & Trevors, J. (1988). Glyphosate in the environment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 409–420.
- Castañeda, R. (2010). *ESTRATEGIA DE FUMIGACIÓN DE CULTIVOS ILÍCITOS EN LA FRONTERA COLOMBO – ECUATORIANA COMO COMPONENTE DEL PLAN DE COLOMBIA*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- CCME. (1989). *Canadian water quality guidelines*. Ottawa, Ontario: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Chauhan, B., Singh, R., & Mahajan, G. (2012). Ecology and management of weeds under conservation agriculture. *Crop Protection*, 57-65.
- Cooperativa de Trabajo la Minga. (2008). *Informe de la situación local fundamentos de los daños ambientales de la producción actual, y proyecto de alternativas de una agroproducción sin agroquímicos*. Córdoba: Cooperativa de trabajo la Minga.
- Dornelas, M., Moonen, A., Magurran, A., & Bàrberi, P. (2009). Species abundance distributions reveal environmental heterogeneity in modified landscapes. *Journal of Applied Ecology* 46, 666-672.

- Duarte, R., Barragán, R., & Mocha, E. (2003). Efectos del glifosato (GP) con énfasis en organismos acuáticos (revisión de literatura). *Sistema de Información Científica*, 70-100.
- Duke, S., Baerson, S., & Rimando, A. (2003). *Herbicides: glyphosate*. New York, USA: Encyclopedia of agrochemicals.
- Eberbach, P. (1998). Applying non-steady-state compartmental analysis to investigate the simultaneous degradation of soluble and sorbed glyphosate (N-(phosphonomethyl)glycine) in four soils. *Pesticide Science*, 229–240.
- Ecoportal.net. (2001, Septiembre 19). *Las fumigaciones en Colombia*. Retrieved from http://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Derechos-Humanos/Las_fumigaciones_en_Colombia
- Edwards, W., Triplett Jr., G., & Kramer, R. (1980). A watershed study of glyphosate transport in runoff. *Journal of Environmental Quality*, 661–665.
- FAO. (2000). *Estado Mundial de la Agricultura*. Retrieved from <http://www.http://www.fao.org/docrep/x4400s/x4400s00.HTM>
- FAO. (2018, Enero 22). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved from <http://www.fao.org>
- Finney, M., & Creamer, N. (2010). *Weed Management on Organic Farms*. North Carolina State University.
- Fogelberg, F., & Kritz, G. (1999). Intra-row weeding with brushes on vertical axes factors influencing in-row soil height. *Soil and Tillage Research*, 149-157.

- Franz, J., Mao, M., & Sikorski, J. (1997). *Glyphosate. A unique global herbicide*. ACS Monographs 189. Washington, DC, USA: American Chemical Society.
- Gallardo, S. (2014, Septiembre 4). *Abejas confundidas a causa del glifosato*. Retrieved from <http://nexciencia.exactas.uba.ar/abejas-confundidas-a-causa-del-glifosato>
- Giesy, J., Dobson, S., & Solomon, K. (2000). Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. *Review of Contamination and Toxicology*, 167: 35–120.
- Gimsing, A., & Dos Santos Afonso, M. (2005). *Glyphosate. Biogeochemistry of Chelating Agents*. Washington, DC, USA: ACS Symposium Series 910, American Chemical Society.
- Glass, R. (1987). Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 497–500.
- Goldsborough, L., & Brown, D. (1988). Effect of glyphosate (Roundup® formulation) on periphytic algal photosynthesis. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology*, 253–260.
- Haney, R., Senseman, S., Hons, F., & Zuberer, D. (1999). Effect of glyphosate on soil microbial activity. *Proc-S-Weed-Sci-Soc*, 215.
- Harte, J., Holdren, C., Schneider, R., & Shirley, C. (1991). *Guía de las sustancias contaminantes. En: El libro de los tóxicos de la A a la Z*. Argentina: Ed. Grijalbo.
- Hernando, F., Royuela, M., Muñoz-Rueda, A., & Gonzalez-Murua, C. (1989). Effect of glyphosate on the greening process and photosynthetic metabolism in *Chlorella pyrenoidosa*. *Journal of Plant Physiology*, 26–31.

- Idrovo, A. (2000). Vigilancia de las intoxicaciones con plaguicidas en Colombia. *Salud Pública*, 36-46. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsalu-dpublica/>
- Infocampo. (2014, Septiembre 9). *Sostienen que los herbicidas alteran la vida de las abejas*. Retrieved from <http://www.infocampo.com.ar/sostienen-que-los-herbicidas-alteran-la-vida-de-las-abejas/>
- Labrada, R., & Parker, C. (1996). *El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas, de Manejo de malezas para países en desarrollo*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Labrador, J., Prada, H., Rengifo, C., Lapuente, C., & Céspedes, Á. (2012). Estudio clínico-patológico de los efectos del glifosato (Roundup®) a niveles subletales en un modelo experimental murino. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 17-24.
- Larimer County Colorado. (2015, Mayo 30). *Methods of weed control*. Retrieved from <http://www.larimer.org/weeds/control.htm>
- López, B., & Muñoz, W. (2018). *Análisis de la respuesta espectral de cultivos mediante el uso de RPAS para la identificación de maleza vegetal*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Lundkvist, A., & Verwijst, T. (2011). *Weed Biology and Weed Management in Organic Farming. Research in Organic Farming - INTECH*.
- Lydon, J., & Duke, S. (1988). Glyphosate induction of elevated levels of hydroxybenzoic acids in higher plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36: 813–818.

- Maitre, M., Lorenzatti, E., Lenardón, M., & Enrique, S. (2008). Adsorción-desorción de glifosato en dos suelos argentinos. *Natura Neotropicalis*, 19–31.
- Marrs, R., Frost, A., Plant, R., & Lunnis, P. (1993). Determination of buffer zones to protect seedlings of non-target plants from the effects of glyphosate spray drift. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 283–293.
- Marshall, E., Brown, V., Boatman, N., Lutman, P., Squire, G., & Ward, L. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43, 77-89.
- Médiène, S., Valantin-Morison, M., Sarthou, J., de Tourdonnet, S., Gosme, M., Bertrand, M., . . . Doré, T. (2011). Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 491-514.
- Melander, B., Lattanzi, B., & Pannacci, E. (2015). Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. *Crop Protection*, 1-8.
- Mhlanga, B., Cheesman, S., Maasdorp, B., Muoni, T., Mabasa, S., Mangosho, E., & Thierfelder, C. (2015). Weed community responses to rotations with cover crops in maize-based conservation agriculture systems of Zimbabwe. *Crop Protection*, 1-8.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). *Apreciaciones al informe emitido por la IARC y su potencial impacto en el uso del herbicida glifosato en Colombia*. Bogotá: Instituto Nacional de Salud.
- Monsanto. (2015, Junio 18). *Roundup Formulaci3n Granulada*. Retrieved from <http://www.monsanto.com/global/ar/productos/documents/roundup-fg-mon-78844.pdf>

- Moreno, I. (2008). *El impacto causado al medio ambiente por los químicos utilizados en la erradicación de los cultivos ilícitos en el catatumbo nortesantandereano y el cumplimiento a la normatividad ambiental colombiana*. San José de Cúcuta: Universidad Libre de Colombia.
- Narwal, S., & Haouala, R. (2013). Role of Allelopathy in Weed Management for Sustainable Agriculture. *Springer Berlin Heidelberg*, 217-249.
- Navas, E. (2014). *Prevención de riesgos laborales nivel básico en el sector agrario*. Málaga, España: Interconsulting Bureau S.L.
- Nicholls, C., & Altieri, M. (1997). Conventional agricultural development models and the persistence of the pesticide treadmill in Latin America. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 93–111.
- Nivia, E. (2000). *Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato*. Retrieved from Secretaría Regional Latinoamericana: <http://www6.rel-uita.org/old/agrotoxicos/Efectos%20sobre%20la%20salud.htm>
- Nivia, E. (2001). *Fumigaciones sobre cultivos ilícitos contaminan el ambiente colombiano*. Mexico: Pesticide Action Network.
- Nivia, E. (2002). *Las fumigaciones aéreas sobre cultivos ilícitos sí son peligrosas*. Red de Acción en Plaguicidas y Alternativas.
- Oerke, E. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144, 31-43.
- Ongley, E. (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. *Riego y Drenaje*, 55.

- Organización Mundial Para la Salud. (2015, Marzo 22). *Confirmado: la OMS ratificó que el glifosato de las fumigaciones puede provocar cáncer*. Retrieved from <http://www.lavaca.org/notas/confirmado>
- Pannacci, E., & Tei, F. (2014). Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. *Crop Protection*, 51-59.
- Petit, S., Boursault, A., Le Guilloux, M., Munier-Jolain, N., & Reboud, X. (2011). Weeds in agricultural landscapes. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 309-317.
- Piñeros, G., & Quintero, J. (2008). *Determinación de la concentración letal media (CL50) del glifosato Roudup 747 SG ((NH₄)C₃H₇NO₅P), Por medio de bioensayos de toxicidad acática sobre Daphnia pulex*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Pujadas, A., & Hernández, J. (1988). Concepto de mala hierba. *ITEA* 75, 47-56.
- Radosevich, S., Holt, J., & Ghera, C. (1997). *Weed Ecology: Implications for Vegetation Management*. New York: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.
- Radosevich, S., Holt, J., & Ghera, C. (2007). *Ecology of weeds and invasive plants: Relationship to agriculture and natural resource management*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.
- Salisbury, F., & Ross, C. (1994). *Fisiología vegetal*. México D.F., 759 pp: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Samsel, A., & Seneff, S. (2013). Glyphosate's Suppression of Cytochrome P450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases. *Entropy*, 1416-1463.

- Sanchez Ramirez, J. (2005, Marzo 23). *La política de erradicación de fumigaciones con glifosato y el "efecto globo"*. Retrieved from <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/politica/tesis53.pdf>
- Satikas, C., & Konidari, C. (2001). Analytical methods to determine phosphonic and amino acid group. *containing pesticides*, 1-19.
- Schaffer, J., & Sebetich, M. (2004). Effects of aquatic herbicides on primary productivity of phytoplankton in the laboratory. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1032–1037.
- Slaughter, D., Giles, D., & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63-78.
- Sprankle, P., Meggitt, F., & Penner, D. (1975a). Rapid inactivation of glyphosate in the soil. *Weed Science*, 224–228.
- Sprankle, P., Meggitt, F., & Penner, D. (1975b). Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Science*, 229–234.
- Suzuki, C., Takenaka, M., Oka, N., Nagaoka, K., & Karasawa, T. (2012). *A DGGE analysis shows that crop rotation systems influence the bacterial and fungal communities in soils*. Kyoto: Taylor & Francis Ltd.
- Tecnoquímicas S.A. (2015). *Potenciadores de Agroquímicos*. Bogotá: Tecnoquímicas S.A.
- Thomson, W. (1993). *Agricultural Chemicals. Book II Herbicides*. Fresno, USA: Thomson Publications.

- Tolón, A., & Lastra, X. (2009). *Desarrollo en espacios rurales iberoamericanos*. Almería: Universidad Almería.
- Tortensson, L. (1985). Behaviour of glyphosate in soils and its degradation. *The Herbicide Glyphosate*, 137–150.
- Universidad Nacional Litoral. (2010). *Informe acerca del grado de toxicidad del glifosato*. Santa Fe, Argentina: Pellegrini.
- Varona, M., Henao, G., Diaz, S., Lancheros, A., Murcia, A., Rodríguez, N., & Álvarez, V. (2009). Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomédica*, 456-475.
- Walsh, J., Sánchez, G., & Salinas, Y. (2008). *La aspersión aérea de cultivos en Colombia una estrategia fallida*. Bogotá: Oficina en Washington para Asuntos Latinoamericanos (WOLA).
- Woodburn, A. (2000). Glyphosate: production, pricing and use worldwide. *Pest Management Science*, 309–312.
- Xuan, D., Guong, V., Rosling, A., Alström, S., Chai, B., & Högberg, N. (2011). Different crop rotation systems as drivers of change in soil bacterial community structure and yield of rice, *Oryza sativa*. *Springer-Verlag*.