



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



**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,  
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito  
previo para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TEMA:**

“Efectos de la contaminación del suelo por herbicidas en la  
productividad del arroz”

**AUTOR:**

Kleiner Marcelo Tenorio Gómez

**TUTOR:**

Ing. Agr. Adolfo Ramírez Castro, MSc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2020



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



**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,  
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito  
previo para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TEMA:**

“Efectos de la contaminación del suelo por herbicidas en la  
productividad del arroz”

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Ing. Agr. Eduardo Colina Navarrete, MSc.  
**PRESIDENTE**

Ing. Ind. Carlos Castro Arteaga, MSc.  
**PRIMER VOCAL**

Ing. Agr. Nessar Rojas Jorge, MSc.  
**SEGUNDO VOCAL**

La responsabilidad por la investigación, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones presentadas y sustentadas en este Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo son de exclusividad del autor.

***Kleiner Marcelo Tenorio Gómez***

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional. A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres. A mis hermanas/os por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida. A todas las personas que me han apoyado y han hecho que mi trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

**Tenorio Gómez Kleiner Marcelo**

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes. De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Técnica de Babahoyo, a toda la Facultad de Ciencias Agropecuarias, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al **Ing. Agr. Adolfo Ramírez Castro**, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	3
MARCO METODOLÓGICO .....	3
1.1. Definición del tema caso de estudio.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivo .....	4
1.4.1. General .....	4
1.4.2. Específicos.....	4
1.5. Fundamentación teórica.....	5
1.6. Hipótesis .....	20
1.7. Metodología de la investigación .....	20
CAPÍTULO II .....	21
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1. Desarrollo del caso.....	22
2.2. Situaciones detectadas (hallazgo).....	22
2.3. Soluciones planteadas .....	22
2.4. Conclusiones.....	23
2.5. Recomendaciones (propuesta para mejorar el caso).....	24
BIBLIOGRAFÍA .....	25

## RESUMEN

El presente documento trata lo referente a la contaminación del suelo por herbicidas no causa efectos en la productividad del arroz. El cultivo de arroz es uno de los principales productos de ciclo corto que se cultivan en nuestro país, y que sirven para suplir la demanda en la alimentación. Por lo analizado se determinó que las impurezas, presente en varios herbicidas también promueven la contaminación de suelos, permaneciendo por muchos años y causando la degradación natural de otros pesticidas, como fungicidas; la entrada continua de herbicidas en el suelo y las plantas, causan efectos perjudiciales para los microorganismos del suelo y su actividad, lo que causa modificación de los procesos biológicos esenciales para la productividad del cultivo de arroz; el uso indiscriminado de herbicidas con dosis elevada causa degradación de los suelos; los herbicidas Glifosato y Atrazina, desde la época de la Revolución Verde, son considerados los que causan mayores daños en la contaminación edafoclimática; la persistencia y dispersión de los herbicidas en el suelo del cultivo de arroz depende de las características del suelo y las condiciones climáticas; los agroquímicos utilizados como Glifosato Bispiribac, pueden impactar considerablemente los organismos que se encargan de la descomposición del suelo y que sirven para incrementar la productividad del cultivo de arroz; los componentes que deterioran el suelo por el uso de herbicidas son la erosión por agua y viento. Dichos fenómenos que originan una degradación in situ del suelo, pueden ser procesos de degradación física o química y los efectos de la contaminación del suelo por herbicidas es la pérdida de biodiversidad, lo que limita la fase de preparación de la tierra indispensable para el desarrollo agrícola del cultivo de arroz.

**Palabras claves:** Contaminación, Herbicidas, Microorganismos, Suelo.

## SUMMARY

This document deals with what refers to soil contamination by herbicides does not cause effects on rice productivity. Rice cultivation is one of the main short-cycle products that are grown in our country, and that serve to meet the demand in food. From what was analyzed, it was determined that the impurities, present in several herbicides, also promote soil contamination, remaining for many years and causing the natural degradation of other pesticides, such as fungicides; the continuous entry of herbicides into the soil and plants, cause detrimental effects on soil microorganisms and their activity, which causes modification of the biological processes essential for the productivity of rice cultivation; the indiscriminate use of herbicides with high doses causes soil degradation; the herbicides Glyphosate and Atrazine, since the time of the Green Revolution, are considered to be the ones that cause the greatest damage in edaphoclimatic pollution; the persistence and dispersion of herbicides in the rice crop soil depends on the soil characteristics and climatic conditions; the agrochemicals used as Glyphosate Bispiribac, can considerably impact the organisms that are in charge of the decomposition of the soil and that serve to increase the productivity of the rice crop; the components that deteriorate the soil due to the use of herbicides are erosion by water and wind. These phenomena that cause in situ degradation of the soil, can be physical or chemical degradation processes and the effects of soil contamination by herbicides is the loss of biodiversity, which limits the phase of preparation of the land essential for agricultural development of rice cultivation.

**Keywords:** contamination, herbicides, microorganisms, soil.



## INTRODUCCIÓN

El suelo es el resultado de la transformación, en el transcurso del tiempo, de un material geológico (la roca madre), por la influencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos. El suelo se compone de partículas minerales, materia orgánica, agua y aire en proporciones variables (Casas 2015:1). El conocimiento del contenido del suelo es de gran importancia tanto en aspectos agrícolas como hidrológicos, afectando el rendimiento de los cultivos, las prácticas de manejo agrícola y un amplio rango de procesos físicos y químicos que en él se produce (Della *et al.* 2015:2002)

El suelo es un ecosistema vivo y dinámico, posee una amplia variedad de organismos que realizan múltiples funciones, entre ellas la degradación de la materia orgánica. Por su parte, los organismos edáficos son considerados una reserva viva de nutrientes, que es vital para el mantenimiento de la calidad del suelo. Los microorganismos permanecen en contacto con el ambiente del suelo y son indicadores ideales de la contaminación por sustancias xenobióticas como los agroquímicos.

Para prevenir los efectos devastadores de estos organismos nocivos se emplean agroquímicos (fungicidas, herbicidas e insecticidas) diseñados para controlar los patógenos o enfermedades en los cultivos comerciales. Estos productos son un componente importante de la agricultura moderna, pero su empleo continuo puede ocasionar numerosos problemas e influir en la contaminación de los suelos (Rojas y Bedoya 2017:66-72).

Sin embargo, las actividades económicas en la agricultura, están haciendo un uso cada vez más intensivo del suelo, empleando además fertilizantes, con el fin de obtener alimentos y materias primas, situación que está conduciendo a una degradación creciente del suelo, así como a una pérdida irrecuperable del mismo. El uso inadecuado de este recurso trae como consecuencia la imposibilidad de hacer un uso óptimo del suelo en la agricultura (Arroyave y Restrepo 2017:13-34).

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales cultivos de la costa ecuatoriana, donde los agricultores por obtener mayor rendimiento aplican productos que contaminan el suelo, causando efecto perjudicial en el ecosistema.

El presente documento tuvo como finalidad investigar sobre los efectos de la contaminación del suelo por la aplicación de herbicidas, en la productividad del arroz.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO METODOLÓGICO**

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

El presente documento trata lo referente a la contaminación del suelo por herbicidas no causa efectos en la productividad del arroz.

Es indispensable evitar la contaminación de los suelos, especialmente por el deterioro de la vida microbiana del suelo, lo que sin duda repercute en la producción del cultivo de arroz.

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

El suelo es un recurso finito, lo que significa que su pérdida y degradación no es recuperable en el transcurso de una vida humana. Los suelos afectan a los alimentos que comemos, al agua que bebemos, al aire que respiramos, a nuestra salud y la de todos los organismos del planeta. Sin suelos sanos no podríamos producir nuestros alimentos. De hecho, se calcula que el 95 % de nuestros alimentos se producen directa o indirectamente en los suelos (FAO 2019:1).

La contaminación del suelo por herbicidas causa efectos en el medio ambiente y para todas las formas de vida presentes en la tierra. Las prácticas agrícolas insostenibles, como el uso desmedido de herbicidas reducen especialmente la materia orgánica del suelo y facilitan la transferencia de contaminantes a la cadena alimentaria.

El uso indiscriminado de herbicidas además eleva los costos de producción de los cultivos y al ser perjudicial para las plantaciones causan reducción en el rendimiento y calidad de los cultivos.

### **1.3. Justificación**

Unos suelos sanos son la clave para la seguridad alimentaria y para un futuro sostenible. Ayudan a mantener la producción de alimentos, a mitigar y adaptarse al cambio climático, filtrar el agua, mejorar la resiliencia ante inundaciones y sequías y mucho más. Sin embargo, una amenaza invisible está poniendo en peligro los suelos y todo lo que nos ofrecen (FAO 2019:1).

Es necesario promover el uso de herbicidas de manera adecuada, con su respectiva dosificación y épocas de aplicación, con la finalidad de mitigar daños en el medio ambiente y los suelos, con la finalidad de mantener los organismos vivos que ayudan a mejorar la productividad de los cultivos.

El Arsénico y Cadmio son metales pesados de importancia ambiental, siendo evidente que, en las investigaciones demostradas, superan estándares de calidad ambiental y alimentario de las normas establecidas. Por lo tanto, es importante considerar esta problemática que se muestra en distintos países de América Latina, para poder mitigar los impactos que se generan en los recursos naturales y proteger la salud humana, garantizando una mejor disponibilidad de los recursos en la seguridad alimentaria (Fernández y Fernández 2020:1).

### **1.4. Objetivo**

#### **1.4.1. General**

Describir los efectos de la contaminación del suelo por herbicidas en la productividad del arroz.

#### **1.4.2. Específicos**

- Identificar cuáles son los componentes que deterioran el suelo por el uso de herbicidas y merman la productividad del cultivo de arroz.
- Recopilar información sobre los efectos de la contaminación del suelo por herbicidas.

## 1.5. Fundamentación teórica

Las principales amenazas para el deterioro del suelo son: la erosión, el sellamiento, la reducción de la biodiversidad edáfica, la salinización, los deslizamientos de terreno, la disminución del contenido de materia orgánica (MO) y la contaminación local y difusa del suelo. En esta última se ubica el manejo inadecuado de sustancias que forman parte de prácticas agrícolas como herbicidas, insecticidas, funguicidas (Salazar *et al.* 2018:95-119).

La contaminación del suelo provoca una reacción en cadena. Altera la biodiversidad del suelo, reduciendo la materia orgánica que contiene y su capacidad para actuar como filtro. También se contamina el agua almacenada en el suelo y el agua subterránea, provocando un desequilibrio de sus nutrientes. Entre los contaminantes del suelo más comunes se encuentran los metales pesados, los contaminantes orgánicos persistentes y los contaminantes emergentes, como los productos farmacéuticos y los destinados al cuidado personal (FAO 2019:1).

La demanda mundial de alimentos ha aumentado en el orden del 2 % por año como respuesta al crecimiento demográfico en los últimos 50 años. Por lo tanto, la velocidad a la cual se deben producir los alimentos promueve el agotamiento de los recursos, es decir, el suelo no tiene el tiempo suficiente para recuperar el nivel de nutrientes de forma natural, de tal forma que el uso de agroquímicos forma parte de las prácticas comunes en la agricultura moderna (Salazar *et al.* 2018:95-119).

A pesar de la gran cantidad de agroquímicos que se emplean constantemente, es poco lo que se conoce sobre su toxicidad en los organismos, incluyendo al ser humano, así como el impacto ambiental global. A este respecto, los suelos que son la fuente generadora de los alimentos a nivel mundial, son vulnerables a los procesos de degradación, desertificación y su efecto en los ecosistemas que sustentan (García y Rodríguez 2015:1-10).

“Grandes cantidades de agroquímicos son aplicadas a los campos agrícolas con el propósito de mejorar el rendimiento de los cultivos (fertilizantes), así como también para controlar malezas (herbicidas), hongos patógenos de plantas (fungicidas) e insectos nocivos (insecticidas)” (García y Rodríguez 2015:1-10).

Entre los agroquímicos, los plaguicidas constituyen el grupo de productos químicos industriales más utilizados en la actualidad, de los cuales los herbicidas son los más utilizados para mejorar la producción agrícola (Salazar *et al.* 2018). “Se ha reportado además, que el uso de la atrazina implica el riesgo de alterar la dinámica del carbono (C) y nitrógeno (N) en el suelo, así como el riesgo de contaminación ambiental y su consecuente afectación a la salud humana” (Salazar *et al.* 2018:95-119).

Entre los riesgos que se generan por los herbicidas está la pérdida de la fertilidad del suelo, a partir, del daño en el humus y de los nutrientes que los hacen productivo, como es el fósforo, nitrógeno, potasio y otras. Por otro lado, las partículas inorgánicas que integran el suelo permiten la acumulación y dispersión de los herbicidas, no solo en los campos agrícolas sino también en los medios acuáticos y los organismos, los cuales dependerán de la persistencia y degradación de los compuestos (García y Rodríguez 2015.1-10)

En el caso de la atrazina, al ser una base débil (pKa de 1.7), se encuentra en forma básica como molécula y sin carga formal en suelos con valores de pH > 1.7, y en esta condición no es retenida electrostáticamente sobre las superficies con carga neta negativa de algunos componentes del suelo. La adsorción es un proceso clave para que un compuesto esté disponible para ser degradado por los microorganismos o bien, transportado hacia estratos más profundos. Se sabe que la adsorción de atrazina ocurre principalmente en la fracción orgánica del suelo (Salazar *et al.* 2018:95-119).

Las prácticas agrícolas son una de las principales actividades responsables de la liberación de sustancias contaminantes al ambiente, dentro de ellas, los herbicidas son los plaguicidas más utilizados. El paraquat es un herbicida

no selectivo y no sistémico que actúa sobre el fotosistema, específicamente en el cloroplasto. Primero ocasiona la formación de radicales libres y, posteriormente, reacciona con el oxígeno y produce radicales superóxido, los cuales fragilizan y desintegran los tejidos y las membranas de las células. El paraquat se utiliza para el control de la maleza en la producción de café, cacao, coco, aceite de palma, caucho, arroz, banano, papaya, mango, maíz y caña de azúcar, entre otros (Camacho *et al.* 2017:189-196).

Los residuos de plaguicidas que se encuentran en los suelos y en aguas superficiales y subterráneas aumentan continuamente como resultado del creciente y continuado empleo de estas sustancias en agricultura y otros campos de actividad. Aunque el comportamiento óptimo de un herbicida implica su presencia en el lugar y momento apropiado, una vez que llega al suelo o la planta el herbicida experimenta una serie de procesos (arrastre, lixiviado, volatilización) que por una parte le restan eficacia y por otra originan su presencia en lugares no deseados, con los consiguientes problemas medioambientales (Cardoso *et al.* 2017:1).

El paraquat es altamente persistente y se inactiva por completo al entrar en contacto con el suelo, por lo que se almacena en este. Se ha comprobado que en suelos turbosos anaerobios, el tiempo de desintegración media puede alcanzar hasta 7,2 años; en suelos aerobios, 1,2 años, y en suelos arenosos aerobios, 2,6 años (Camacho *et al.* 2017:189-196).

La llegada de los plaguicidas (herbicidas) al suelo tiene diversos orígenes, siendo la principal la aplicación directa al suelo y su deposición cuando se aplican en las partes aéreas de las plantas. En menor proporción, los plaguicidas pueden también llegar al suelo a través de restos vegetales que quedan en el mismo al recolectar el cultivo o de restos suspendidos en la atmósfera y que son transportados por el viento o la lluvia (Alcalá 2017:1).

Dos de los efectos secundarios más adversos son la percolación o lixiviado y el arrastre superficial o escorrentía, por los que los herbicidas llegan a suelos lejanos del lugar de aplicación y/o a aguas superficiales y

subterráneas, convirtiéndose en fuentes de contaminación difusa, que son las más difíciles de remediar (Cardoso *et al.* 2017:1).

Los herbicidas constituyen una herramienta indispensable para el control de malezas. Sin embargo, estos xenobióticos (sustancias orgánicas sintéticas de diversas clases (insecticidas, herbicidas, fungicidas, drogas, fertilizantes, surfactantes), no solamente se distribuyen en el sistema del cultivo y la flora acompañante, sino que ingresan a otros compartimentos ambientales, tales como el suelo y el agua. A través de ellos pueden producir efectos indeseables tales como la contaminación de napas subterráneas (Gutiérrez y Arregui 2015:73-89).

El suelo es un ecosistema vivo y dinámico, posee una amplia variedad de organismos que realizan múltiples funciones, entre ellas la degradación de la materia orgánica. Por su parte, los organismos edáficos son considerados una reserva viva de nutrientes, que es vital para el mantenimiento de la calidad del suelo. Los microorganismos permanecen en contacto con el ambiente del suelo y son indicadores ideales de la contaminación por sustancias xenobióticas como los agroquímicos (Rojas y Bedoya 2017:66-72).

Una vez en el suelo, el herbicida se ve sometido a una serie de procesos que son los que determinan su dinámica y que pueden agruparse en procesos de transferencia o transporte y procesos de transformación o degradación. Los procesos de transferencia o transporte son aquellos por los que los herbicidas se mueven en el suelo dentro de una misma fase, sin experimentar transformación química y por lo tanto conservan la “carga contaminante”, a diferencia a los procesos de transformación donde los herbicidas se transforman o degradan en otros compuestos que pueden ser de igual, mayor o menor toxicidad (Alcalá 2017:1).

Los pesticidas disminuyen la actividad de enzimas del suelo y pueden influir en la mayoría de las reacciones bioquímicas, entre ellas: la mineralización de la M.O., la nitrificación, la denitrificación, la amonificación, las reacciones



redox, y la metanogénesis. Entre las metodologías para determinar los efectos colaterales y residuales de los pesticidas en la microbiología del suelo se encuentran la tasa de respiración microbiana, el recambio de M.O. la biomasa microbiana y las actividades microbianas como fijación de nitrógeno, nitrificación, denitrificación y actividad enzimática (Rojas y Bedoya 2017:66-72).

El suelo es un cuerpo natural y dinámico que, a modo de epidermis, cubre la superficie de la tierra. Constituye uno de los recursos naturales más importante, dado que realiza multitud de funciones, entre las que se destaca la producción de alimentos y en general, su papel como sostén de la vida en el globo terráqueo. Una de las principales funciones de los suelos es que proporciona los nutrientes, agua y soporte físico necesario para el crecimiento de los vegetales (Jiménez 2017:1).

Cualquiera sea el método de aplicación, siempre hay fracciones del pulverizado que llegan al suelo. Incluso cuando el producto es aplicado sobre el follaje, el suelo es el mayor depósito y sitio de degradación puesto que el plaguicida depositado sobre las hojas puede ser arrastrado. Así, el comportamiento y el destino de los plaguicidas presentes en el ambiente edáfico, constituye un aspecto significativo de la interacción del pesticida con el ambiente (Gutiérrez y Arregui 2015:73-89).

Los agroquímicos utilizados como Glifosato, Bispiribac, Azoxystrobin y Malatión, pueden impactar de diferente manera los microorganismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica para el cultivo de arroz (Rojas y Bedoya 2017:66-72).

La contaminación del suelo puede entenderse como una degradación química y por tanto como un proceso o procesos que conllevan la pérdida de productividad. Es lo que sucede una vez que el suelo recibe sustancias tóxicas en concentraciones que superan su capacidad natural de autodepuración; en este sentido, la acumulación de sales podría considerarse como un tipo de contaminación (Jiménez 2017:1).

Los residuos de plaguicidas que se encuentran en los suelos y en aguas superficiales y subterráneas aumentan continuamente como resultado del creciente y continuado empleo de estas sustancias en agricultura y otros campos de actividad. En particular, la aplicación de herbicidas a suelos supone una gran preocupación en la actualidad por el impacto que dichos herbicidas pueden tener debido a su alta movilidad en diferentes compartimentos como son el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, algunas de las cuales son utilizadas para uso doméstico y otras para riego del propio olivar y de otros cultivos (Trigo *et al.* 2016:299-306).

Al suelo pueden adicionarse una variada gama de sustancias contaminantes, orgánicas o inorgánicas provenientes de fuentes muy diversas. Así los pesticidas se aplican directamente por medio de tratamiento aéreo o superficial. Otros contaminantes se depositan vía húmeda o seca bajo la forma de partículas atmosféricas. También pueden llegar al suelo los contaminantes por medio de los residuos municipales o de efluentes de rellenos sanitarios, etc (Jiménez 2017:1).

En la agricultura de bajo el sistema de riego, los herbicidas no sólo controlan las malas hierbas en los cultivos, sino también facilitan la operación de miles de kilómetros de canales de riego y drenaje. Con el empleo correcto de los plaguicidas es previsible que los efectos adversos sobre el ambiente sean leves. Sin embargo, aun con un uso correcto de los mismos, se han detectado trazas de residuos en aire, agua y suelo, lo que suscita el incremento de alarma social frente a este tipo de contaminantes debido a los nefastos efectos que potencialmente causan en el resto de organismos (Bruna 2016:1).

Una de las causas que más contribuyen a acentuar el impacto producido por los herbicidas aplicados a suelos está relacionada con el hecho de que la mayoría de las formulaciones de herbicidas que se usan actualmente contienen la materia activa en una forma libre o inmediatamente disponible y que, por lo tanto, también es susceptible de transportarse rápidamente hacia puntos alejados del lugar de aplicación por procesos de lixiviación y

escorrentía (Trigo *et al.* 2016:299-306).

El problema desde el punto de vista ambiental (y económico), reside en que se estima que tan solo un 1 % del total de plaguicida (herbicidas, funguicidas, nematocidas, insecticidas) aplicado alcanza el organismo “blanco”, mientras que aproximadamente el 25 % se queda retenido en el follaje, el 30 % llega al suelo y el 45 % es exportado directamente a la atmósfera y a los sistemas acuáticos por escorrentía y lixiviación. Esto conlleva a que el excedente de plaguicida no efectivo o residual, puede ser transportado desde el suelo hacia otros compartimentos ambientales pudiendo entrar en contacto con los organismos, incluyendo los seres humanos (Bruna 2016:1).

En este sentido, se ha propuesto que la aplicación del herbicida en un soporte adecuado, que lo libere gradualmente a lo largo del tiempo, puede atenuar los efectos adversos de contaminación de áreas alejadas del lugar de aplicación, que afectan a los plaguicidas utilizados en escenarios de alto riesgo, como es el caso de los suelos (Trigo *et al.* 2016:299-306).

Es necesario considerar que el uso de los herbicidas tiene consecuencias, tanto positivas como negativas para la vida humana. Esto se debe a que produce un aumento extraordinario del rendimiento de la tierra sin el que no hubiera sido posible alcanzar los niveles actuales de producción alimentaria. Sin embargo, ocasiona la disminución de la biodiversidad, así como la contaminación del suelo y del agua (Arias *et al.* 2019:204-210).

La información sobre el movimiento y la persistencia del glifosato en suelos es variada. Estudios demuestran que el glifosato que llega al suelo es fuertemente adsorbido, aún en suelos con bajos contenidos de arcillas y materia orgánica. Por ésto, 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 (Nivia 2000:1).

La contaminación difusa emerge principalmente como consecuencia de las

necesarias actividades agrícolas, silvícolas y ganaderas. Hay opiniones sobre la imposibilidad de hacer agricultura ó silvicultura sin generar contaminación, pero es evidente que su magnitud será mayor si las prácticas de manejo se ejecutan sin respetar las dosis recomendadas, los plazos de seguridad, o sin una visión ambiental (Gómez 2016:1).

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. El glifosato puede ser exudado por raíces y retornar en forma disponible a la solución del suelo, disminuir drásticamente las poblaciones de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) y aumentar el número de actinomicetes y otros fungicidas (Ramírez *et al.* 2017:59-72).

Al ser aplicados de forma incorrecta son nocivos para la salud de los que los utilizan, lo cual ocurre habitualmente si los trabajadores agrícolas no reciben una formación profesional o instrucción adecuada con respecto al trabajo que desempeñan. También pueden llegar a ser peligrosos para el consumidor y producir una intoxicación alimentaria si se utilizan en exceso o no se respetan los periodos de tiempo necesarios para su degradación (Arias *et al.* 2019:204-210).

Las acciones de los seres humanos afectan ostensiblemente a un sinnúmero de ecosistemas acuáticos, modificando con ello la evolución natural de los mismos en diferentes escalas. En el afán de hacer rendir más las cosechas de los alimentos necesarios para consumo humano, el hombre ha utilizado sustancias para controlar las plagas y malezas de sus cultivos y resulta innegable que, mediante el uso de las mismas, se ha logrado ampliar el horizonte agrícola conforme a la demanda derivada del crecimiento de la población (Badii 2015:1).

Dada la multiplicidad de acciones asociadas a la agricultura, no es fácil –a priori– identificar las vinculadas directamente a la contaminación. No obstante, prácticas en principio susceptibles de generar contaminación son:

- Control de plagas, enfermedades y malezas, con productos aplicados directamente al suelo.
- Fertilización, en especial con abonos nitrogenados.
- Laboreo del suelo.
- Riego, como precursor de erosión y potenciador de la contaminación.
- Manejo de ganado.

Como se observa, dichas prácticas, en términos generales, son completamente necesarias para la actividad agrícola, de ahí la importancia de su adecuada realización (Gómez 2016:1).

Datos interesantes sobre el glifosato según un estudio realizado en suelos, esta herbicida forma complejos con iones metálicos que podrían afectar su degradación, su distribución y su biodisponibilidad en suelos y aguas subterráneas. Debe tenerse en cuenta, que las propiedades de los suelos y los complejos minerales resultan de gran importancia para evaluar el control de la contaminación por glifosato, agente fuertemente quelante de metales como el hierro y otros, lo que vuelve el herbicida más persistente en suelo (Villamil 2016:25-43)

Estudios realizados sobre los procesos de migración de atrazina en suelos, indican que existe un riesgo de contaminación del suelo, a través del agua subterránea por aplicación del herbicida, debido principalmente a la persistencia de atrazina. La adsorción y la mineralización de atrazina son los principales procesos involucrados en la atenuación natural de plaguicidas en suelos (González 2016:587-599).

El uso de estas sustancias de manera indiscriminada e irresponsable acarrea problemas a diferentes organismos y a sus poblaciones; Esto ocurre desde el proceso químico de la manufactura de las sustancias y en donde se generan residuos considerados agentes químicos tóxicos, los cuales si no tienen un manejo adecuado pueden constituirse en un riesgo para el ambiente y la salud humana hasta el uso y la aplicación de los agroquímicos con la consecuente afectación de la integridad de los atributos ecológicos de

los sistemas naturales acuáticos y terrestres (Badii 2015:1).

Los suelos que se hallan cultivados con arroz y son regados empleando las aguas del río, en cuyo cauce se vierten aguas residuales no depuradas. Los metales pesados una vez depositados en el suelo tienden a permanecer, al menos inicialmente, en los horizontes superficiales, siendo subsiguientemente sometidos a procesos de retención semejantes a los que ocurren en suelos naturales, con la salvedad de que suelen ser incorporados en mayores concentraciones y bajo formas complejas muy variables dependiendo de la fuente contaminante (Méndez *et al.* 2015:281-286).

Las excesivas concentraciones de metales pesados en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud debido a que éstos se mueven a través de la cadena alimenticia tanto vía consumo de plantas como por el consumo de animales que fueron alimentados con éstos productos. Los metales acumulados en los suelos se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación (Pozo *et al.* 2011:17-30).

Las plagas y enfermedades reducen de manera significativa la producción de los cultivos. Para prevenir los efectos devastadores de estos organismos nocivos se emplean agroquímicos (fungicidas, herbicidas e insecticidas) diseñados para controlar los patógenos o enfermedades en los cultivos comerciales. Estos productos son un componente importante de la agricultura moderna, pero su empleo continuo puede ocasionar numerosos problemas e influir en los microorganismos benéficos del suelo; entre aquellos se encuentran los fungicidas que se emplean con más frecuencia que otra clase de agroquímicos en regiones tropicales (Rojas y Bedoya 2017: 66-72).

La aplicación de herbicidas ha incrementado y mantenido la productividad de los cultivos debido a que las malezas son uno de los factores más importantes que afectan el establecimiento y rendimiento de los cultivos. Sin embargo, en el último tiempo diversas investigaciones han mostrado que el

uso de herbicidas puede producir diversos efectos sobre la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas del suelo, lo que genera un problema debido a que los microorganismos del suelo por medio de sus enzimas catalizan muchos procesos esenciales en el ciclo de nutrientes y el crecimiento de las plantas y por lo tanto, la interferencia de los herbicidas sobre la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas se relacionaría directamente con la fertilidad del suelo (Alvear 2016:64-76).

Entre tales procesos cabe citar los relativos a precipitación como fase sólida del suelo, adsorción por coloides inorgánicos-arcillas, óxidos y oxihidróxidos de Fe y Mn y sobre materia orgánica y reacciones de quelatización con la materia orgánica del suelo. La persistencia de estos metales pesados en los suelos es mayor que en cualquier otro medio de la biosfera y la contaminación que producen resulta virtualmente permanente. Su carácter tóxico y acumulativo ocasiona daños en plantas, animales y el hombre. El frecuente vertido sobre el suelo de contaminantes a través de las aguas de riego no depuradas, puede llegar a superar la capacidad de retención, fijación y adsorción de los mismos (Méndez *et al.* 2015:281-286).

Los metales pesados tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo para las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben más oligoelementos y la concentración de estos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, especialmente en la solución húmeda que adsorbe la planta (Pozo *et al.* 2011:17-30).

Los dos herbicidas 2,4-D y MCPA, se degradan con bastante rapidez en los suelos, comprobado por los tiempos de vida media encontrados y por los bajos parámetros de activación. En este caso se puede comprobar viendo las vidas medias a diferentes condiciones de humedad y temperatura, que podrían no quedar residuos de estos herbicidas para campañas sucesivas de los cultivos de arroz (Pila 2018:1).

En la agricultura de arroz en el Ecuador uno de los problemas más críticos

es la deficiencia del nitrógeno y de materia orgánica de los suelos de cultivo, acompañado de la incidencia de malezas en el cultivo. El uso generalizado de fertilizantes artificiales tipo urea, como fuente de nitrógeno, y herbicidas tradicionales si bien está sosteniendo la labor agrícola arrocerá, por otro lado provoca problemas medioambientales, incluyendo apelmazamiento del terreno, cambios de la actividad microbológica y química del suelo y contaminación del agua. Esta situación se torna todavía más crítica cuando las preferencias del mercado apuntan actualmente a los productos agrícolas orgánicos y naturales (Armijos 2005:1).

Los problemas fitosanitarios de plagas, malezas y enfermedades siguen convirtiéndose en limitantes donde los agricultores diariamente los combaten. Las prácticas agrícolas que utilizan en cada zona no son las adecuadas donde no se da conservación del suelo ni del agua. A través de un programa productivo se busca aumentar la rentabilidad, brindar un cultivo de calidad, estableciendo estrategias de fertilización, manejo de plagas, enfermedades, malezas y un calendario de siembra, que permitirán trabajar de manera ordenada en los sectores de arroz. Estas alternativas enfocadas con el desarrollo sostenible, ambiental: minimizar los plaguicidas e impactos al recurso suelo y agua, en lo social: tener mayor utilidad, evitar enfermedades, plazas de trabajo, en lo económico: minimizar gastos de inversión y mayor rentabilidad (Córdova e Isabel 2018:1).

En el caso de ambos herbicidas las vidas medias halladas indican que estos productos se degradan antes de que llegue la siguiente campaña, por lo tanto los peligros de contaminación por persistencia de residuos en el suelo o en las aguas parecen ser mínimos. En los suelos de cultivo de arroz estudiados predomina como fenómeno de destino ambiental el proceso de degradación los herbicidas 2,4-D y MCPA, siendo éste principalmente de carácter microbológico, reduciéndose la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas (Pila 2018:1).

La contaminación por metales pesados presente en suelos y fuentes de aguas en cultivos de arroz, han causado una creciente preocupación debido



a su toxicidad, características de persistencia y bio-acumulación (Fernández y Fernández 2020:1).

Los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos, radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos (Méndez *et al.* 2016:29-44).

Para el caso de contaminación por metales pesados en alimentos, los límites máximos permisibles en concentración de metales pesados establecidos en el agua de uso agrícola es 0,001 de Hg; 0,1 As; 0,01 Cd; 0,05 Pb y para el caso de cereales en grano (excepto trigo) 1,0 de As y 0,2 de Pb. Las prácticas de cultivo utilizan comúnmente abonos orgánicos, agroquímicos y plaguicidas en gran cantidad y se ha determinado que la aplicación de fungicidas, pesticidas y fertilizantes presentan sobredosisificación en cantidad y frecuencia de aplicación que incrementa la probabilidad de presencia de metales pesados en suelos agua y alimentos (Reyes *et al.* 2016:66-77).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente. En un pequeño grado se pueden incorporar a organismos vivos (plantas y animales) por vía del alimento y lo pueden hacer a través del agua y el aire como medios de traslocación y dependiendo de su movilidad en dichos medios (Méndez *et al.* 2016:29-44).

En análisis de muestras de suelos usados, principalmente, para el cultivo de arroz, en contaminación por metales pesados, uno de los principales factores que se deben tener en cuenta es que esta debe ser entendida como el incremento en la concentración de elementos tóxicos, debido a factores antropogénicos como la minería, el uso de algunos pesticidas y fertilizantes

y la industria petrolera (Niño y Ramírez 2015:59-72).

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. En plantas, el concepto de bioacumulación se refiere a la agregación de contaminantes; algunos de ellos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros (Méndez *et al.* 2016:29-44).

Estudios demuestran que en cada uno de los metales analizados como cadmio, cobre, plomo, níquel y zinc demuestran que las muestras de suelos analizados, correspondientes a suelos donde se cultiva arroz, presentan valores bajos. Sin embargo, hay que destacar que no existen valores de referencia para metales pesados en suelos de uso agrícola; esto hace que no se pueda diferenciar más claramente cuáles suelos están contaminados y cuáles no (Niño y Ramírez 2015:167-176).

Los metales pesados están presentes en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas. En los suelos se pueden encontrar diferentes metales, formando parte de los minerales propios; como son silicio (Si), aluminio (Al), hierro (Fe), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg). También puede encontrarse manganeso (Mn), que generalmente se presenta en el suelo como óxido y/o hidróxido, formando concreciones junto con otros elementos metálicos. Algunos de estos metales son esenciales en la nutrición de las plantas, así son requeridos algunos de ellos como el Mn, imprescindible en el fotosistema y activación de algunas enzimas (Méndez *et al.* 2016:29-44).

La importancia que tiene el estudio de metales pesados en el cultivo de arroz, es la absorción de éstos por las plantas, lo cual es el primer paso a la entrada en la cadena trófica, donde puede biomagnificarse y repercutir en los seres vivos que lo consumen. Asimismo, las principales fuentes de

metales pesados como el arsénico (As), proceden del uso de plaguicidas utilizados en cultivos agrícolas (Fernández y Fernández 2020:1).

Se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, la plata, entre otros, los que constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos de ellos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, organismos del suelo, plantas y animales (Méndez *et al.* 2016:29-44).

En el país de Ecuador, miles de agricultores se dedican al cultivo de arroz las cuales emplean pesticidas para mantener la integridad de sus cultivos, por consecuencia del uso inadecuado de estos, genera la presencia de metales pesados. La presencia de estos productos, como herbicidas, son una fuente principal de contaminación en suelos agrícolas, y su distribución o degradación está relacionado con las propiedades y características fisicoquímicas del suelo, lo cual son fuentes potenciales de metales pesados (Fernández y Fernández 2020:1).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, entre otras. La naturaleza de la contaminación y el origen de los metales y formas de deposición y condiciones medio ambientales producen acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos (Méndez *et al.* 2016:29-44).

Los metales pesados guardan una relación directa con los riesgos por contaminación de los suelos, toxicidad en las plantas y los efectos negativos sobre la calidad de los recursos naturales y el ambiente, peligros dependientes de diversos aspectos como son la toxicidad específica del metal, bio-acumulación, persistencia y no biodegradabilidad (Martínez y González 2017:21-31).

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas (Méndez *et al.* 2016:29-44).

En general, la distribución de metales pesados en los suelos es un fenómeno complejo que se ve influenciada por factores como el potencial redox, el pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el nivel de las aguas subterráneas y sus fluctuaciones, entre otros. En las plantas la fitotoxicidad genera especialmente reducción del crecimiento radicular, de la biomasa y la transpiración, clorosis y necrosis en hojas, así como síntomas de senescencia y abscisión (Martínez y González 2017:21-31).

## **1.6. Hipótesis**

Ho= La contaminación del suelo por herbicidas no causa efectos en la productividad del arroz.

Ha= La contaminación del suelo por herbicidas causa efectos en la productividad del arroz.

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

La presente información se desarrolló como componente práctico para el trabajo de titulación, se realizó de acuerdo a las investigaciones recopiladas de artículos científicos, textos, revistas, periódicos, ponencias, congresos y páginas virtuales.

La búsqueda posteriormente fue sometida a las técnicas de análisis, síntesis y resumen donde se trató lo referente a la contaminación del suelo por herbicidas y su incidencia en la productividad del cultivo de arroz.

## **CAPÍTULO II**

## **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

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

El presente documento se elaboró con la finalidad de determinar los efectos de la contaminación del suelo por herbicidas en la productividad del arroz.

Los herbicidas pueden alterar la estructura y el funcionamiento del suelo mediante efectos directos sobre varios componentes de su microbiota. Muchos autores han encontrado un efecto perjudicial del glifosato sobre la calidad del suelo y la diversidad microbiana. Sin embargo, la mayoría de los trabajos han sido realizados en sistemas de cultivos herbáceos y anuales y muy pocos en sistemas forestales o leñosos perennes (Bórtoli *et al.* 2015:16).

### **2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)**

El cultivo de arroz es uno de los principales productos de ciclo corto que se cultivan en nuestro país, y que sirven para suplir la demanda en la alimentación; lo que conlleva a que cada día los agricultores se preocupen por aumentar sus rendimientos sin importar el uso indiscriminado de herbicidas que utilizan para controlar las malezas que se presentan en el cultivo.

Es necesario acotar que al no tener reflejada una dosificación adecuada de herbicidas promueve al aumento de los costos de producción lo que repercute que los beneficios económicos sean rentables.

La contaminación de los suelos provoca la disminución de la materia orgánica de los mismos, deterioro de los microorganismos benéficos y baja productividad del cultivo de arroz.

### **2.3. Soluciones planteadas**

A fin de bajar los costos de producción del cultivo de arroz, es necesario aplicar las dosis y épocas adecuadas de los productos herbicidas en el cultivo de arroz, debido a que el productor de arroz, como cualquier otro productor de granos básicos u otros cultivos, tiene que considerar la producción agrícola, como una actividad empresarial, es decir efectuar una inversión, recuperar esa inversión, deducir los otros gastos incurridos y además obtener una utilidad, que le permita que la actividad le sea rentable y ser exitoso, productivo, competitivo y sostenible en la actividad. Los costos influyen de manera significativa en la rentabilidad de los agricultores individuales.

Promover la aplicación de abonos orgánicos antes de la aplicación de herbicidas, a fin de disminuir el impacto de los productos herbicidas en el suelo, lo que provocan daño en los microorganismos beneficiosos.

Entre las metodologías para determinar los efectos colaterales y residuales de los pesticidas en la microbiología del suelo se encuentran la tasa de respiración microbiana, el recambio de M.O. la biomasa microbiana y las actividades microbianas como fijación de nitrógeno, nitrificación, denitrificación y actividad enzimática (Rojas y Bedoya 2017:66-72).

Es importante señalar que la persistencia de atrazina en suelos, se ve disminuida drásticamente en presencia de ácido húmico y de ácido fúlvico y mientras más ácido sea el suelo, la persistencia de la atrazina disminuye y por consiguiente disminuye la contaminación de los suelos (Badii 2015:1).

## **2.4. Conclusiones**

Por lo detallado anteriormente, se concluye:

- La aplicación continua de herbicidas en el suelo y las plantas, causan efectos perjudiciales para los microorganismos del suelo y su actividad, lo que causa modificación de los procesos biológicos esenciales para la productividad del cultivo de arroz. P

- El uso indiscriminado de herbicidas como Glifosato, Bispiribac y Atrazina con dosis elevada causa degradación de los suelos. P
- Los herbicidas Glifosato y Atrazina, desde la época de la Revolución Verde, son considerados los que causan mayores daños en la contaminación edafoclimática. P
- Los ingredientes inertes, presente en varios herbicidas también promueven la contaminación de suelos, permaneciendo por muchos años y causando la degradación natural de otros pesticidas, como funguicidas. E1
- La persistencia y dispersión de los herbicidas en el suelo del cultivo de arroz depende de las características del suelo y las condiciones climáticas. E1
- Los agroquímicos utilizados como Glifosato Bispiribac, pueden impactar considerablemente los organismos que se encargan de la descomposición del suelo y que sirven para incrementar la productividad del cultivo de arroz. E1
- Cuando se deteriora el suelo por el uso de herbicidas provoca la erosión por agua y viento. Dichos fenómenos que originan una degradación in situ del suelo, pueden ser procesos de degradación física (compactación, artificialización) o química (acidificación, salinización, pérdida de materia orgánica, contaminación). E2
- Los efectos de la contaminación del suelo por herbicidas es la pérdida de biodiversidad, lo que limita la fase de preparación de la tierra indispensable para el desarrollo agrícola del cultivo de arroz. E2

## **2.5. Recomendaciones (propuesta para mejorar el caso)**

Por las conclusiones planteadas, se recomienda:

- Si hubo aplicaciones indiscriminadas de herbicidas en suelos arroceros, se



recomienda hacer análisis de suelo para verificar el estado actual del mismo y mediante la recomendación técnica hacer labores de restauración del sustrato aplicando enmiendas o cualquier producto para mejorar los suelos.

- Aplicar herbicidas en dosis y épocas de aplicación recomendadas para la producción del cultivo de arroz, con la finalidad de disminuir o mitigar la contaminación de los suelos.
- Promover el uso de control de maleza manual a fin de cultivar plantas ecológicamente amigables, que no deterioren el medio ambiente y los suelos.
- Utilizar herbicidas con base biológica (específicamente alguno, que tenga en su composición ácidos del gabazo de cacao) para evitar el amplio espectro generados por los herbicidas químicos.
- Hacer una rotación de herbicidas con características de control, para evitar el impacto negativo hacia los descomponedores del suelo y así no perjudicar la productividad del cultivo de arroz
- Utilizar labores de mecanización agrícola para la descompactación del suelo (uso de arado subsolador o cincel), y aplicar métodos de agricultura conservacionista en las labores de preparación de terreno previo a la siembra.
- Investigar otros factores que influyen en la contaminación de suelos, para analizar su impacto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Alcalá, M. (2017). La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias naturales (Vol. 74). Universidad de Sevilla.
- Alvear, M., López, R., Rosas, A., Espinoza, N. (2016). Efecto de la aplicación de herbicidas en condiciones de campo sobre algunas actividades biológicas. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6(1), 64-76.
- Arias, D., Mora, R., Romero, O. (2019). Uso de herbicidas en el control de malezas. Importancia de su conocimiento para el profesional agrónomo. *Opuntia Brava*, 11(1), 204-210.
- Armijos, M. (2005). Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 18(1).
- Arroyave, S., Restrepo, F. (2017). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre económico*, 12(23), 13-34.
- Badii, M. H., Cuevas, R. G., Almanza, V. G., & Flores, J. L. (2005). Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en Ecosistemas acuáticos y asociados. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 2(6), 1.
- Bórtoli, P. V., Verdenelli, R. A., Conforto, C., Vargas Gil, S., Meriles, J. M. (2015). Efectos del herbicida glifosato sobre la estructura y funcionamiento de comunidades microbianas de dos suelos de plantaciones de olivo. Pag.16.
- Bruna González, F. (2016). Aplicación de hidrotalcitas como adsorbentes para la reducción de la contaminación por plaguicidas de aguas y suelos. Universidad de Córdova.
- Camacho-Morales, R. L., Gerardo-Gerardo, J. L., Navarro, K. G., & Sánchez, J. E. (2017). Producción de enzimas ligninolíticas durante la degradación del herbicida paraquat por hongos de la pudrición blanca. *Revista argentina de microbiología*, 49(2), 189-196.
- Cardoso, L. P., Celis, R., Cornejo, J., & Valim, J. B. (2017). Formulaciones de liberación lenta para la prevención de la contaminación de suelos y aguas por herbicidas ácidos.

- Casas Flores, R. (2015). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Editorial Paraninfo.
- Córdova, E., Isabel, A. (2018). Estrategias para mejorar el suelo en el cultivo de arroz del sitio la cuca, provincia de El Oro Ecuador.
- Della Maggiora, A., Irigoyen, A., Gardiol, J., Caviglia, O., & Echarte, L. (2015). Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Rev. Arg. de Agrometeorología*, 2(2), 2002.
- FAO. 2019. La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro. Disponible en <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>
- Fernández Guevara, E., Fernández Guevara, D. (2020). Revisión de la concentración de metales pesados por uso de agroquímicos en agua de riego, suelo y cultivo de arroz. Pag. 1.
- García-Gutiérrez, C., & Rodríguez-Meza, G. D. (2015). Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3), 1-10.
- Gómez Calero, J. A. (2016). Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
- González-Márquez, L., Hansen, A., (2016). Adsorción y mineralización de atrazina y relación con parámetros de suelos del DR 063 Guasave, Sinaloa. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 26(3), 587-599. Recuperado en 01 de septiembre de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742009000300004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742009000300004&lng=es&tlng=es).
- Gutiérrez, H., Arregui, M. (2015). Comportamiento de herbicidas en suelos, agua y plantas. *Revista FAVE*, 14(1), 73-89.
- Jiménez Ballesta, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos. Mundi-Prensa Libros.
- Martínez, Z., González, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Colombia. *Temas agrarios*, 21-31.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., García, F. P. (2016). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
- Méndez-Romero, F., Blanquer, J., García, J., Marqués, Á. (2015). Relación estadística entre metales pesados y propiedades de suelos de cultivo regados con aguas residuales no depuradas. *Interciencia*, 28(5), 281-286.

- Niño, M., Ramírez, M. (2015). Análisis de metales pesados en suelos irrigados con agua del río Guatiquía. (Heavy Metal Analysis on Soils Irrigated with Water from the Guatiquía River.). *Ciencia en desarrollo*, 6(2), 167-176.
- Nivia, E. (2000). Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato. Recuperado de <http://www.glifocidio.org/docs/impactos%20generales/ig1.pdf>.
- Pila, A. (2018). Estudio cinético y de transporte de herbicidas en agua y suelo utilizados en los cultivos de arroz.
- Pozo, W., Sanfeliu, T., Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *Maskana*, 2(1), 17-30.
- Ramírez-Muñoz, F., Bravo-Durán, V., Herrera-Ledezma, G. (2017). Uso del herbicida glifosato en Costa Rica en el periodo 2007 a 2015. *Uniciencia*, 31(1), 59-72.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., Jiménez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 16(2), 66-77.
- Rojas, L., Bedoya, G. C. (2017). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta agrónomica*, 62(1), 66-72.
- Salazar-Ledesma, M., Mora, L., Chávez, B., Gómez, D., Zamora, O., & Prado, B. (2018). Susceptibilidad del suelo al impacto humano: caso del herbicida atrazina. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(1), 95-119.
- Trigo, C., Celis, R., Facenda, G., Cornejo, J. (2016). Formulaciones basadas en organoarcilla para reducir el impacto producido por el uso de herbicidas en suelos de olivar. *Revista de Ciências Agrárias*, 33(1), 299-306.
- Villamil Lepori, Edda C. y Bovi Mitre, Graciela, Nassetta, Mirtha (2016). Situación actual de la contaminación por plaguicidas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29 (), 25-43. [Fecha de Consulta 1 de Septiembre de 2020]. ISSN: 0188-4999. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=370/37028958002>