



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“IMPACTO DE AGROQUÍMICOS EN LA FAUNA EDÁFICA DE
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PAPA- LA MERCED”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Flavia Ximena Olórtegui Izaguirre

Asesor:

Luis Gomero Osorio

Lima – Perú

2018



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°192-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 27 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Impacto de agroquímicos en la fauna edáfica de sistemas de producción de papa- La Merced**, presentado por:

- **Flavia Ximena Olórtegui Izaguirre**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Impacto de agroquímicos en la fauna edáfica de sistemas de producción de papa- La Merced** con N° de registro de la carrera: **027-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

IMPACTO DE AGROQUÍMICOS EN LA FAUNA EDÁFICA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PAPA- LA MERCED

Flavia Ximena Olórtegui Izaguirre

Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales, Ingeniería Ambiental

Panamericana Sur km 19

flaxioi98@gmail.com

RESUMEN

Los agroquímicos o fitosanitarios son sustancias aplicadas al campo de la agricultura con el fin de evitar las pérdidas por plagas y así asegurar una mejor producción junto con una supuesta seguridad alimentaria. Sin embargo, su uso indiscriminado no trae más que consecuencias a la calidad del suelo por medio de una alteración en las funciones de los organismos que viven en él como bacterias, hongos, ácaros, colémbolos y lombrices de tierra; siendo estos representantes de la micro, meso y macro fauna. El objetivo de esta revisión es demostrar que esta situación no solo no garantiza una salud y fertilidad del suelo para las generaciones futuras, sino también una afectación de otros medios como el acuático (a través de la lixiviación) y de la salud de las mismas personas por medio de la presencia de moléculas de agroquímicos en los productos a consumir. Tal puede ser el caso del cultivo de papa, uno de los más importantes para el país, no solo por su aporte económico, sino también por su valor social que ha tenido por miles de años. Por tal razón se concluye en la necesidad de generar mayor información sobre cómo se ven afectados estos organismos por la aplicación de agroquímicos en cultivos de papa y qué tantos residuos de estos compuestos se evidencian en ellos.

Palabras clave: Agroquímicos, fauna edáfica

ABSTRACT

The agrochemicals or phytosanitaires are substances applied to the field of agriculture in order to avoid losses by pests and thus ensure a better production along with a supposed food security. However, its indiscriminate use only brings consequences to the soil quality by altering the functions of the organisms that live in it, such as bacteria, fungi, mites, springtails and earthworms; these being representatives of the micro, meso and macro fauna. The objective of this revision is to show that this situation not only doesn't guarantee the health and fertility of the soil for future generations, but also affects other media such as water bodies (through leaching) and the health of people through the presence of agrochemical molecules in the products to be consumed. Such may be the case of potato cultivation, one of the most important for the country, not only for its economic contribution, but also for its social value that has had for thousands of years. For this reason it is concluded in the need to generate more information on how these organisms are affected by the application of agrochemicals in potato crops and how much residues of these compounds are evidenced in them.

Keywords: Agrochemicals, edaphic fauna

REVISIÓN TEÓRICA

Agroquímicos

Los pesticidas siempre han estado presentes a lo largo de la historia de la humanidad. Se definen como toda sustancia o mezcla de sustancias de ingredientes químicos o biológicos cuyo propósito es repeler, destruir o controlar plagas, o regular el crecimiento de plantas (FAO y OMS, 2014). Su primer uso intencional documentado es de los Sumerios en 2.500 A.C. donde la población restregaba su cuerpo con componentes sulfurados creyendo que los malos olores alejaban a los insectos y ácaros; sin embargo, no fue hasta 300 A.C. que Teofrasto (padre de la botánica moderna) asoció malezas con ciertos tipos de cultivos y evidenció que se podía matar árboles indeseables vertiendo aceite de oliva en sus raíces (Taylor, Gordon, y Kirk, 2007). Este uso de pesticidas, enfocado a la sanidad vegetal, se considera como una clase de pesticida denominada “agroquímicos” o “fitosanitarios” (INTA, 2014).

Clasificación

La clasificación de agroquímicos en el mercado mundial se puede realizar por medio de su peligrosidad en donde se describe si es tóxico, nocivo, corrosivo, irritante, inflamable, explosivo u oxidante. La OMS se basa en la toxicidad del compuesto técnico y en la formulación para realizar su clasificación. Para ser más exactos, se basa en la toxicidad aguda oral y dermal en ratas a través de la Dosis Letal 50 (LD₅₀), la cual se define como la cantidad en mg de la sustancia tóxica por kg del cuerpo necesario para matar al 50% de una grande población de animales de prueba, en este caso de las ratas (Programa Internacional de Seguridad en Químicos-IPCS, 2009).

A continuación, se muestra la clasificación de la OMS, quien se guió de la clasificación realizada por el Sistema Globalmente Armonizado de Comunicación y Etiquetado de Químicos- GHS (Tabla 1).

Tabla 1

Clasificación de agroquímicos según su toxicidad

Clasificación de la OMS		LD ₅₀ de la rata (mg/ kg del peso del cuerpo)	
		Oral	Dermal
Ia	Extremadamente peligroso	< 5	< 50
Ib	Altamente peligroso	5–50	50–200
II	Moderadamente peligroso	50–2 000	200–2 000
III	Ligeramente peligroso	>2 000	>2 000
U	Poco probable de presentar peligro agudo	5 000 a más	

Nota. Fuente: Programa Internacional de Seguridad en Químicos-IPCS. (2009). *The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification: 2009.* Recuperado de: https://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_2009.pdf

Por otro lado, también se puede efectuar una clasificación de acuerdo a su uso y la naturaleza de su objetivo, siendo estos los herbicidas, fungicidas, insecticidas, rodenticidas, molusquicidas, bactericidas y nematocidas (Estado de Queensland, 2005). Cada uno se puede clasificar de diferente manera; por ejemplo, los herbicidas se pueden clasificar por la translocación en la planta, por el tiempo de aplicación, por el método de aplicación, por la especificidad, y por el sitio de acción (Vats, 2015).

Impactos

Los agroquímicos son usados a nivel mundial y generan diferentes impactos en aspectos económicos, sociales y ambientales. En el aspecto económico, a través de las 20 principales empresas de la venta de agroquímicos, se tiene al mercado de agroquímicos valorizado en más de 50 000 millones de dólares (Agribusiness Intelligence, 2017). A su vez, los agroquímicos evitan la extensión de tierras de cultivo para satisfacer la creciente demanda de alimento y también disminuyen la frecuencia de uso del suelo, evitando así la pérdida de este recurso (Bernardes, Pazin, Pereira y Dorta, 2015).

Dejando de lado los beneficios que puedan traer en materia económica, los agroquímicos se singularizan por no solo afectar su plaga objetivo sino también organismos benéficos y hasta los mismos cultivos, lo cual ocasiona su ingreso a la cadena alimenticia y, por ende, la afectación de la salud humana (Amaraneni, 2018). A nivel mundial, se tiene por lo menos tres millones de casos anuales de envenenamiento por agroquímicos, de los cuales 200 000 terminan con la vida del afectado (Svensson *et al.*, 2013).

Esta situación es más peligrosa para los países en vías de desarrollo puesto que los agricultores usan agroquímicos que son prohibidos en los países desarrollados, no realizan las técnicas de aplicación adecuadas ni usan la debida protección al momento de realizar actividades que involucren, directa o indirectamente, el contacto con los agroquímicos (Ngowi, Mrema y Kishinhi, 2016). Esta situación se debe, en la mayoría de los casos, a la falta de conocimiento de los mismos agricultores que desconocen los riesgos a los cuales se exponen no solo ellos, sino también a su familia.

Un claro ejemplo de esto es el reuso de los envases de agroquímicos para el consumo de alimentos o bebidas (Damalas y Eleftherohorinos, 2011). Las consecuencias a la salud se manifiestan a través de una gran cantidad de enfermedades crónicas que pueden ser respiratorias, cardiovasculares, cancerígenas y neuronales (Mostafalou y Abdollah, 2013); siendo estas últimas en las cuales se ha demostrado un deterioro neuroconductual para personas que tuvieron una exposición leve a pesticidas organofosforados por un periodo largo de tiempo (Ross, McManus, Harrison y Mason, 2012).

El impacto ambiental que generan los agroquímicos ha sido estudiado y mencionado en varias asambleas internacionales a través de reportes en las cuales se habla de un impacto negativo para los ecosistemas (FAO, 2017). Se ha encontrado la presencia de ésteres de ftalato (usados en la producción de películas de plástico para agricultura) y de pesticidas organoclorados como dicloro difenil tricloroetano (DDT) en cantidades superiores del estándar recomendado en el suelo agrícola del delta del río Yangtze, una de las regiones más prósperas del mundo con una población de 110 millones de personas; lo alarmante fue que la prohibición de los pesticidas organoclorados en China se dio en la década de 1980, con lo cual se demostró su alta permanencia en el ambiente (Sun *et al.*, 2015).

Esta situación genera un problema para otro tipo de ecosistemas como el acuático puesto que los compuestos activos pueden tener relativa movilidad, ya sea por escorrentía superficial, lixiviación o por la erosión de partículas de suelo, y llegar a manifestarse en cuerpos de agua subterránea poco profundos como es en el caso de los cultivos de arroz en Sri Lanka donde se estimó una concentración de $2.2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ de

carbofuran a una profundidad de 3 m y entre 47.78 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ a 265.45 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ para glifosato en agua superficial (Aravinna, Priyantha, Pitawala y Yatigamma, 2016).

Cabe resaltar que se han encontrado concentraciones de pesticidas en un lago de Burkina Faso con el fin de estimar el riesgo que generan en comunidades acuáticas a través de su índice de toxicidad para lo cual se obtuvo que clorpirifos, cipermetrina y dieldrín generaban riesgo a los peces y cladóceros; atrazina, azadiractina, carbofuran, clorpirifos, cipermetrina, dieldrín y imidacloprid a los invertebrados bentónicos (Lehmann, Fargues, Nfon Dibié, Konaté y de Alencastro, 2017).

De manera semejante, se ha comprobado que insecticidas como los neonicotinoides generan impactos negativos en agentes polinizadores como las abejas (Food and Agriculture Organization-FAO, 2017). Esto se demuestra a través de una alta concentración de ingredientes activos pertenecientes a los neonicotinoides y de ciertos fungicidas en el polen y néctar que es consumido por las abejas (David *et al.*, 2016); cabe resaltar que tanto las abejas como los abejorros no evitan este tipo de ingredientes activos, es más, se ha observado que tienen una preferencia por soluciones de sacarosa con Imidacloprid y Thiamethoxam (ambos neonicotinoides) sobre soluciones de sacarosa sola (Kessler *et al.*, 2015).

El escenario descrito anteriormente, por más que no sea una situación letal para las abejas, produce una disminución en la eficiencia del forrajeo de polen (Feltham, Park y Goulson, 2014) y una reducción de la salud de la colmena (Woodcock *et al.*, 2017). Es conveniente mencionar que la exposición a ingredientes activos no es el único factor de estrés puesto que existen otros como la presencia de parásitos y la escasez de alimento

que se pueden combinar de diferentes formas haciendo más difícil controlar sus efectos sobre las abejas (Goulson, Nicholls, Botías y Rotheray, 2015; Woodcock *et al.*, 2017)

Suelo

El suelo se puede definir de muchas formas dependiendo de la perspectiva que se tenga. Desde la perspectiva ecológica y agroforestal se le considera como la interfase que permite intercambios entre la litosfera, biosfera, e hidrosfera facultando así el enraizamiento de plantas y la producción de alimentos, forrajes, entre otros, para sustentar la vida sobre la Tierra (Casanelas, Reguerin y Roquero de Laburu, 2003).

Por otro lado, desde la perspectiva de textos enfocados en el tema, se define al suelo como un cuerpo natural compuesto por sólidos (incluyen tanto materia orgánica como inorgánica), líquidos y gases que se encuentran en la superficie terrestre y presentan la característica de tener horizontes o capas como resultado de la meteorización del material inicial o roca madre (Soil Survey Staff, 1999).

Horizontes

Para poder estudiar el suelo desde su superficie hasta su roca madre se realiza un corte transversal del terreno denominado *perfil de suelo*; este permite diferenciar diferentes capas horizontales llamadas *horizontes* que presentan diferentes características y propiedades como el color, textura, estructura, consistencia, entre otros, los cuales generalmente siguen la topografía del paisaje (Casanelas *et al.*, 2015). Los tipos de horizontes presentes en un perfil de suelo permiten dar a conocer la edad del suelo. Se cuentan con nueve horizontes principales que se representan con letras en mayúscula; estos son los siguientes (Soil Survey Staff, 2014; Schoonover y Crim, 2015):

Horizonte O. Consiste mayormente de materia orgánica como restos de hojas, musgos, líquenes, entre otros, en descomposición. Es la capa superior en algunos suelos puesto que no todos los lo tienen como, por ejemplo, los suelos de pastizales y suelos agrícolas, que por constante erosión y labranza no presentan este horizonte. Es distinguible en suelos de selva y tiene tres sub clasificaciones principales como hémico-Oe, fíbrico-Of, y sáprico-Os.

Horizonte L. Es el horizonte límnic el cual consiste de materiales límnicos que pueden depositarse en cuerpos de agua a causa de la precipitación o por acción de microorganismos acuáticos; por esta razón es común encontrar este tipo de capa en los bordes de ríos.

Horizonte A. Es el horizonte mineral formado justo debajo de la capa orgánica. Es llamado comúnmente como el “suelo superficial”. Sus características consisten en la acumulación de materia orgánica y/o la presencia de una capa de arado. También se caracteriza por un color oscuro el cual se le atribuye al movimiento de la materia orgánica proveniente del horizonte O. En el caso de los suelos que realizan agricultura intensiva, el horizonte A incorpora materiales característicos de la capa O, presentando así un nivel de materia orgánica superior a los otros horizontes.

Horizonte E. Es el horizonte cuya principal característica es la pérdida eluvial de arcillas de silicato, aluminio y hierro, o una combinación de estos por causa de su lixiviación; lo cual se refiere a un lavado de estos nutrientes generado por el

movimiento de agua a lo largo del perfil de suelo. Esta situación genera que este horizonte presente un color pálido.

Horizonte B. Es el horizonte donde se acumulan los materiales lixiviados de la capa E incluyendo humus, carbonatos, yeso, y óxidos de aluminio y hierro; los cuales le conceden una coloración rojiza en comparación a los horizontes contiguos.

Horizonte C. Este horizonte se considera como la transición entre la roca madre y el suelo. La parte superior de esta capa la porción que recibe mayor desgaste y va formando parte de los horizontes superiores.

Horizonte R. Es el horizonte que contiene a la roca madre, la cual se define como una capa de material rocoso consolidado que da paso a las propiedades del suelo del sitio en donde se encuentra. Se puede encontrar desde unos pocos centímetros de profundidad o hasta 30 m por debajo de la superficie.

Horizonte W. Hace referencia a la presencia de agua debajo del suelo. Esta se puede encontrar permanente congelada (W_f) o no (W).

Es conveniente mencionar que, a su vez, el suelo presenta diferentes propiedades que se interrelacionan y que, dependiendo de su estado, se pueden interpretar para saber en qué condición se encuentra el suelo referente a su fertilidad y salud. Estos términos engloban los componentes físicos, químicos y biológicos (United States Department of Agriculture-USDA, 1999). Se tienen las siguientes propiedades fisicoquímicas:

Textura

Se define como el porcentaje de partículas, de acuerdo a su peso, con un diámetro menor a 2 mm considerados como tierra fina. Estas partículas del suelo se denominan separados y se pueden agrupar en tres grandes grupos: arena, limo y arcilla. Existen diferentes instituciones que realizan su clasificación, sin embargo, se tiene a la de la USDA como la más aceptada (Jaramillo, 2002; Soil Science Division Staff, 2017)

Tabla 2

Clasificación de partículas de suelo según su diámetro

Separado	Rango de diámetro de partícula en mm	
	USDA	ISSS*
Arena	>2 - 0,05	2 - 0,02
Limo	0,05 - 0,002	0,02 - 0,002
Arcilla	< 0,002	< 0,002

*: Sistema Internacional de la Ciencia del Suelo

La textura del suelo dependerá en gran parte del tipo de material parietal que tuvo el suelo y qué tanto se ha desgastado o meteorizado por diferentes factores; una vez que se forma la textura, es muy difícil que cambie por alguna práctica de manejo puesto que el proceso de formación es muy lento y poco susceptible a cambios (Naga, Golla y Vengatampalli, 2016). Sin embargo, esta situación puede cambiar dependiendo de qué tan variable sea el terreno y qué actividades se realizan, puesto que se ha demostrado que las excavaciones y terrazas alteran este parámetro (Huu Chien *et al.*, 2018).

pH

Hace referencia a la actividad de los iones hidrógeno en la solución suelo la cual, dependiendo de su valor, puede afectar en muchos procesos de importancia para mantener la fertilidad del recurso (FAO, 2006). La escala de valoración del pH más común para suelos va de un rango de 3,5 a 9 siendo de 6-7 el rango óptimo en donde crece adecuadamente la mayor cantidad de plantas, Tabla 3.

Tabla 3

Clasificación de agroquímicos según su toxicidad

Clase de pH	Rango
Extremadamente ácido	3,5 - 4,4
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5
Moderadamente ácido	5,6 - 6
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 - 7,8
Moderadamente alcalino	7,9 - 8,4
Fuertemente alcalino	8,5 - 9

Nota. Fuente: United States Department of Agriculture (Enero, 1998). Soil Quality Indicators: pH. Recuperado de: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052208.pdf

Uno de los procesos más importantes que se encuentra íntimamente relacionado con el valor del pH del suelo es la disponibilidad o movilización de nutrientes. Cuando el pH se encuentra por debajo de 5,5 el suelo presenta poca disponibilidad de elementos como el fósforo, calcio y magnesio; teniendo así un aumento de la solubilidad de aluminio, boro y hierro, y una solubilidad baja de molibdeno. Por otro lado, cuando el pH se encuentra por encima de 7,8 la disponibilidad de magnesio y calcio es alta a diferencia de la poca que se tiene con el fósforo, boro, hierro, manganeso, cobre y zinc (USDA, 1998).

Es importante mencionar que el pH también influye en los microorganismos y en las moléculas de agroquímicos. La actividad microbiana se ve afectada en las actividades enzimáticas extracelulares, como por ejemplo en el aumento de la actividad de la celulasa y proteasa junto con la masa microbiana en suelos alcalinos por aplicación de cal, y una reducción de la actividad de ácido fosfatasa (Stark, Männistö y Eskelinen, 2014). También puede alterarse la población de microorganismos, como frente a un pH ácido en donde aumenta la población de acidobacterias y bacterias anaerobias que se encuentran adaptadas a este tipo de medio (Zhalnina *et al.*, 2014).

Siguiendo con la idea anterior, el pH también influye en la interacción con agroquímicos puesto que, si suelo se encuentra fuera del rango de pH adecuado, se tendrá un efecto nulo o no se degradará adecuadamente (USDA, 1998). A su vez, la persistencia del agroquímico también puede variar como en el caso de los herbicidas triazina y sulfonilurea. La descomposición química y microbiana de estos herbicidas se enlentece frente a un pH alcalino superior a 7, también presentando un menor número de

compuestos activos unidos a partículas de suelo, aumentando así su disponibilidad para las plantas y su persistencia (Curran, 2016).

Conductividad

Se refiere a la concentración de sales presentes en la solución suelo o también conocida como en la fase líquida del suelo. Cuando se tiene una conductividad mayor o igual a 4 dS/m, se le considera como suelo salino. La salinidad en los suelos es un problema muy latente en las tierras agrícolas puesto que disminuye el crecimiento de una gran variedad de cultivos que no son tolerables, afectando así la productividad y rendimiento. Los suelos salinos se caracterizan por presentar altas concentraciones de sodio, sulfatos, magnesio y cloro; los cuales, al no tener un buen drenaje y presentar alta evapotranspiración, forman costras salinas en la superficie (Güler, Arslan, Cemek y Ersahin, 2014).

En otras palabras, la presencia de sales en la superficie del suelo depende, en cierto modo, de las precipitaciones que se den en la zona. Altas precipitación generan una lixiviación de estas sales hacia perfiles más profundos del suelo, mientras que precipitaciones bajas propician un aumento. Esta situación se puede extrapolar a suelos agrícolas en donde no se tiene un riego adecuado, siendo el riego lo equivalente a las precipitaciones (Rodríguez, Larreal y Moreno, 2012).

Referente al tema de los pesticidas, se ha demostrado que la aplicación de un tratamiento previo a semillas con insecticidas Imidacloprid y prothioconazol; y con fungicidas fludioxonil y difenoconazol generan un aumento significativo en la salinidad de suelo incluyendo una disminución tanto en la población de microorganismos como en la de lombrices (Zaller *et al.*, 2016). Se están realizando estudios para disminuir la

salinidad en suelos y se han demostrado resultados positivos con la aplicación de vermipost (Mogollón, Martínez y Torres, 2015) y con la búsqueda de plantas resistentes a altos niveles de salinidad y sodicidad para remediar el suelo (González, Rodríguez, Delgado, Estrada y Muñoz, 2014).

Continuando con las propiedades del suelo, también se cuentan con las propiedades biológicas. El suelo cuenta con una gran variedad de organismos, los cuales se encuentran muy relacionados con las propiedades fisicoquímicas puesto que estos crean las condiciones necesarias para que se desarrolle la vida. Esta es la razón por la cual los parámetros biológicos muchas veces se toman como indicadores indirectos del manejo y calidad de suelo, siendo un ejemplo la respiración del suelo y la actividad enzimática (Delgado y Gómez, 2016). Los organismos del suelo se pueden clasificar de acuerdo al ancho de sus cuerpos, siendo $<100 \mu\text{m}$ la microbiota (bacterias y hongos) y micro fauna (nematodos); $>100 \mu\text{m}$ and $<2 \text{ mm}$ la meso fauna (ácaros); y $>2 \text{ mm}$ la macro fauna (Swift, Heal y Anderson, 1979).

Microbiota

Las bacterias del suelo se pueden encontrar desde la misma superficie hasta rocas o tejidos de plantas, siendo los lugares más comunes el mismo suelo y los desechos. Por más que no hayan sido estudiados a la profundidad de los hongos, las bacterias realizan funciones esenciales para los ecosistemas edáficos como la contribución significativa a la degradación de materia orgánica a través de una enzima que degradan la pared celular o la fijación de nitrógeno. En la mayoría de suelos se pueden encontrar los siguientes filos: Bacteroidetes, Acidobacteria, Firmicutes, Actinobacteria, Proteobacteria, y Actinobacteria (Lladó, López-Mondéjar y Baldrian, 2017).

No obstante, en un estudio reciente en donde se analizaron más de 237 suelos en 18 países en los 6 continentes teniendo en cuenta varios factores como las propiedades del suelo, clima, disponibilidad de nutrientes, tipo de vegetación y la estructura de las comunidades microbianas; se obtuvo que solo 511 filotipos (2%) de los 25 224 identificados fueron dominantes siendo los más comunes Alphaproteobacteria, Planctomicetos, Acidobacteria, Actinobacteria y Betaproteobacteria. Esto demostró que la mayoría de filotipos de bacterias del suelo son raros y que muy pocos son abundantes pudiéndose encontrar en una gran variedad de suelos a nivel mundial (Delgado-Barrequito *et al.*, 2018).

Siguiendo con la microbiota del suelo, también se tienen presentes a los hongos. Existe una variedad muy grande de hongos del suelo haciendo muy complicado realizar un conteo exacto del número de especies por la naturaleza que presentan; se ha estimado que se encuentran alrededor de 7000 especies de hongos del suelo. Entre las funciones más importantes se tiene a la de degradadores primarios a través del crecimiento del micelio en la materia orgánica del suelo, lo cual da una superficie para el esporocarpo. Aparte de sus funciones, también cuentan con interacciones como es el caso de las micorrizas, que pueden incluir alimentación cruzada con plantas o ayuda en la germinación de la semilla o la prevención de patógenos (Bridge y Spooner, 2001).

De acuerdo a un estudio realizado en donde se analizaron 40 muestras de suelo de cada una de 365 comunidades naturales alrededor del mundo; se obtuvo como resultado que de las 52 481 Unidades Taxonómicas Operativas (UTO), el 48,7% corresponde al filo Ascomycetos y el 41,8% a los Basidiomicetos (Tedersoo *et al.*, 2014). Cabe resaltar que las funciones tanto de hongos como de bacterias no se deben de aislar, en muchos casos

dependen el uno del otro como, por ejemplo, el incremento de nutrientes por la descomposición de la materia orgánica y en la conectividad del suelo por medio de los micelios de los hongos que permiten que ciertas bacterias se movilicen; y viceversa con las bacterias rizosféricas (Lladó, López-Mondéjar y Baldrian, 2017).

Debido a la importancia de estos organismos, se han realizado una serie de estudios relacionados a cómo éstos se ven afectados por la aplicación de agroquímicos en el suelo. Los parámetros más usados han sido la biomasa microbiana, la diversidad microbiana y la respiración basal del suelo (Torres, Rojas, López y Zamora, 2009; Lo, 2010; Mogollón, Vera y Martínez, 2015; Habova, Pospisilova y Formanek, 2016). Cada estudio es variable dependiendo de muchos factores como las propiedades fisicoquímicas del suelo, el tipo de agroquímico utilizado, su dosis y hasta el sistema de producción utilizado (Mogollón, Vera y Martínez, 2015; Pokharel y Zimmerman, 2015).

Se considera importante mencionar que muchos estudios se enfocan en obtener la biomasa total del suelo la cual incluye tanto a microorganismos en estado activo, potencialmente activo y latente. La microbiota activa se encuentra entre un 0,1- 2% del total, siendo éstos los que realizan los procesos biogeoquímicos. A su vez, se han evaluado diferentes métodos para estimar la población activa y se recomienda un enfoque dinámico (utilización de sustrato y formación de producto) como es el caso de la respiración basal (Blagodatskaya y Kuzyakov, 2013).

En los estudios mencionados anteriormente se han obtenido los siguientes tipos de resultados: el aumento del crecimiento de la población microbiana, la inhibición del crecimiento o simplemente ningún efecto significativo en los microorganismos. Se tiene el caso del insecticida Fenamifos que inhibió la actividad de bacterias fijadoras de

nitrógeno, lo cual afectó significativamente a la nitrificación de suelos de Australia y Ecuador (Cáceres, He, Megharaj y Naidu, 2009). A su vez, se tiene el caso de dosis elevadas de Methyl-Parathion y Lamdacyhalotrina que generaron una inhibición de la respiración basal junto con la biomasa microbiana durante los primeros 7 días, para luego mostrar un aumento progresivo hasta el día 30, demostrando así una etapa de adaptación (Torres, Rojas, López y Zamora, 2009).

Por el lado contrario, también se cuentan con estudios en donde, por ejemplo, el carbofuran actúa como un estimulante de la población de *Azospirillum* (bacterias que estimulan el crecimiento de las plantas) y fijadores anaeróbicos de nitrógeno. También se cuenta con la experiencia del glifosato que aumenta temporalmente el crecimiento microbiano y del methamidofos que estimula la población de hongos. Por otro lado, se tienen casos como el clorotolurón y diuron que no causan ninguna diferencia significativa en las comunidades microbianas (Lo, 2010).

Referente a cómo afectan los sistemas de producción a los microorganismos del suelo, se cuenta con la experiencia de un sistema de monocultivo de tomate y un sistema rotativo de tomate- pimentón- cebolla en el cual se obtuvo como resultado que el monocultivo saliniza el suelo, disminuye la población microbiana y les causa estrés a diferencia del sistema rotativo (Mogollón, Vera y Martínez, 2015). Por otro lado, comparando un sistema de producción convencional con uno orgánico se obtuvo que la biomasa total de hongos, flagelados y la población de Actinobacteria junto con los nutrientes fósforo y cobre en tejidos de plantas; y fósforo, azufre y materia orgánica en suelo fueron significativamente superiores en el sistema orgánico que en el convencional (Pokharel y Zimmerman, 2015).

Meso y macro fauna

Dentro de la meso fauna (>100 μm and <2 mm) se tienen a los ácaros y a los colémbolos como los grupos más representativos. Los ácaros viven en los desechos y poros aéreos del suelo; al igual que los colémbolos, salvo con ciertas especies que viven en la superficie o en la vegetación (Roy, Roy, Jaiswal y Baitha, 2018). En el caso de la macro fauna (>2 mm) se tiene a la lombriz de tierra como mayor representante. Tanto la meso como la macro fauna alteran el ciclo de nutrientes y la descomposición, ya sea alimentándose o generando desechos en el suelo. Presentan una relación muy variable que puede ser facilitadora, neutral o hasta antagonista en algunos casos (Grubert, Butenschoen, Maraun y Scheu, 2016).

Debido a su importancia, se han utilizado especies de estos grupos como bioindicadores de la calidad de suelo en diferentes estudios. En un estudio donde se comparó el impacto de insecticidas y fungicidas sintéticos con bioinsecticidas y biofungicidas en la población de ácaros y colémbolos, se obtuvo una reducción significativa en cantidad por parte de los sintéticos a diferencia de los biológicos (Majeed, Naveed, Riaz, Ma y Afzal, 2018). Por otra parte, se ha demostrado que la afectación puede variar dependiendo del tipo de agroquímico utilizado, como en el caso de una mezcla Captan 50 WP (fungicida) con Clorpirifos 20 EC (insecticida) en donde la población de colémbolos aumentó debido a la muerte de sus enemigos naturales por los agroquímicos (Rather y Shah, 2010).

En el caso de las lombrices de tierra, los estudios indican que no se presenta mortalidad a corto con las dosis recomendadas de agroquímicos, salvo cuando esta se sobrepasa excesivamente; sin embargo, esto no significa no se pueda haber un efecto negativo a largo plazo a través de un proceso acumulativo del compuesto activo (Amossé, Bart,

Péry y Pelosi, 2018). Por otro lado, la exposición a agroquímicos puede generar estrés en las lombrices haciendo que deriven energía de sus actividades de reproducción, crecimiento y excavación, teniendo como consecuencia una disminución del peso y la tasa de crecimiento (Vasantha-Srinivasan, et al., 2017; Pelosi, Barot, Capowiez, Hedde y Vandenbulcke, 2013).

Es importante agregar que se han realizado estudios de comparación de la meso y macro fauna en sistemas de producción orgánicos y convencionales en los cuales se evidenció una mejora en la descomposición de nutrientes en los sistemas orgánicos por la calidad de los residuos, lo cual benefició a estos animales (Domínguez, Bedanoa, Becker y Arolfo, 2013). Continuando con la idea anterior, los sistemas de producción se adecúan a la cultura de la zona, haciendo importante especificar si el sistema se trabaja con labranza o sin labranza ya que esto también afecta a la fauna del suelo (Pelosi *et al.*, 2013).

Cultivo de papa en el Perú

La papa es un cultivo milenario en el Perú que es fuente de ingreso a un aproximado de 600 000 productores, abarcando un total de 274 411 ha. El rendimiento promedio a nivel nacional es de 13 t/ha y representa un aporte de 13% al Producto Bruto Interno (PBI) del país (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015). Como todo cultivo, la papa es susceptible a plagas como el nemátodo Quiste de la papa (*Globodera sp.*) que ha generado una pérdida de 128 000 000 dólares americanos, siendo la especie predominante *G. pallida* (Franco-Ponce y González-Verástegui, 2011).

Aparte de la plaga mencionada, también se encuentran otras como la mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) y “la negrita del tomate” (*Prodiplosis longifila*) que se han

presentado en cultivos de papa del Valle de Cañete. Para esto, en un estudio se identificó una cantidad de 16 agroquímicos utilizados por los productores, los cuales incluían 11 insecticidas y 5 fungicidas (Mujica y Kroschel, 2018).

Con un uso indiscriminado de estas sustancias, es de esperar que se encuentren moléculas residuales en los mismos cultivos dado que muchos de ellos se mantienen en el suelo o se disuelven con agua y son absorbidos por la planta. Por más que las concentraciones de estas sustancias no lleguen a superar los Límites Máximos de Residuos (LMR), tal como en el caso de Ecuador, cabe la posibilidad de que uno de estos residuos sean de un agroquímico prohibido en el país, demostrando así la falta de institucionalidad y un riesgo para la salud de las personas y del ambiente (Moreira y Vera, 2016).

CONCLUSIONES

La micro, meso y macro fauna cumplen con diferentes funciones, cada una no menos importante que la otra puesto que se relacionan en un contexto tan complejo como lo es el recurso suelo. El uso indiscriminado de agroquímicos afecta de forma negativa estas funciones, siendo la más importante la realización efectiva del ciclo de nutrientes, lo cual no asegura la salud ni la fertilidad del suelo. Se considera importante realizar más estudios sobre qué tanto se ven afectados estos organismos con la aplicación de agroquímicos, especialmente en el cultivo de papa por su relevancia socioeconómica y cultural que representa para el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agribusiness intelligence. (2017). *Top 20 2017*. Recuperado de: https://agrow.agribusinessintelligence.informa.com/-/media/agri/agrow/ag-market-reviews-pdfs/supplements/agrow_top20_2017.pdf
- Amaraneni, S. R. (2018). Potential Impact of Pesticides on Environment and Human Health. *Chemistry International*, 40(3), 46–48. doi:10.1515/ci-2018-0329
- Amossé, J., Bart, S., Péry, A. R. R., y Pelosi, C. (2018). Short-term effects of two fungicides on enchytraeid and earthworm communities under field conditions. *Ecotoxicology*, 27(3), 300–312. doi:10.1007/s10646-018-1895-7
- Aravinna, P., Priyantha, N., Pitawala, A. y Yatigamma, S. K. (2016). Use pattern of pesticides and their predicted mobility into shallow groundwater and surface water bodies of paddy lands in Mahaweli river basin in Sri Lanka. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 52(1), 37–47. doi:10.1080/03601234.2016.1229445
- Bernardes, M. F. F., Pazin, M., Pereira, L. C. y Dorta, D. J. (2015). *Impact of Pesticides on Environmental and Human Health*. Toxicology Studies - Cells, Drugs and Environment. doi:10.5772/59710
- Bridge, P., y Spooner, B. (2001). Soil fungi: diversity and detection. *Plant and Soil*, 232(1/2), 147–154. doi:10.1023/a:1010346305799
- Blagodatskaya, E. y Kuzyakov, Y. (2013). Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*, 67, 192–211. doi:10.1016/j.soilbio.2013.08.024

- Cáceres, T., He, W., Megharaj, M. y Naidu, R. (2009). Effect of insecticide fenamiphos on soil microbial activities in Australian and Ecuadorean soils. *J. Environ. Sci. Health, Part B, 44*, 13–17
- Casanellas, J., Reguerin, M. y Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente (3a. ed.)*. Mexico D.F., Mexico: Mundi-Prensa.
- Curran, W. S. (2016). Persistence of herbicides in soil. *Crops & Soils, 49*(5), 16. doi:10.2134/cs2016-49-0504
- Damalas, C. A. y Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 8*(5), 1402–1419. doi:10.3390/ijerph8051402
- David, A., Botías, C., Abdul-Sada, A., Nicholls, E., Rotheray, E. L., Hill, E. M. y Goulson, D. (2016). Widespread contamination of wildflower and bee-collected pollen with complex mixtures of neonicotinoids and fungicides commonly applied to crops. *Environment International, 88*, 169–178. doi:10.1016/j.envint.2015.12.011
- Delgado, A. y Gómez, J. (2016). The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties. En F. Villalobos y E. Fereres (Ed), *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* (pp. 15-23). Córdoba, España: Springer International Publishing.
- Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A. M., Brewer, T. E., Benavent-González, A., Eldridge, D. J., Bardgett, R. D... Fierer, N. (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science, 359*(6373), pp. 320–325. doi:10.1126/science.aap9516

Domínguez, A., Bedano, J. C., Becker, A. R., y Arolfo, R. V. (2014). Organic farming fosters agroecosystem functioning in Argentinian temperate soils: Evidence from litter decomposition and soil fauna. *Applied Soil Ecology*, 83, 170–176. doi:10.1016/j.apsoil.2013.11.008

Estado de Queensland. (2005). *Agricultural chemical user's manual*. Recuperado de: https://www.daf.qld.gov.au/data/assets/pdf_file/0009/54738/AgChem-UsersManual.pdf

FAO (2006). *Guidelines for soil description*. Roma: FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-a0541e.pdf>

FAO y OMS (2014). *The International Code of Conduct on Pesticide Management*. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/CODE_2014Sep_ENG.pdf

FAO (2017). *Report of the Special Rapporteur on the right to food*. Roma: FAO. Recuperado de: <http://www.pan-uk.org/site/wp-content/uploads/United-Nations-Report-of-the-Special-Rapporteur-on-the-right-to-food.pdf>

Feltham, H., Park, K., & Goulson, D. (2014). Field realistic doses of pesticide imidacloprid reduce bumblebee pollen foraging efficiency. *Ecotoxicology*, 23(3), 317–323. doi:10.1007/s10646-014-1189-7

- Franco-Ponce¹, J. y González-Verástegui, A. (2011). Pérdidas causadas por el nematodo Quiste de la papa (*Globodera sp.*) en Bolivia y Perú. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 16(2), 233-249,
- González, M., Rodríguez, M., Delgado, G., Estrada, J. y Muñoz, J. (2014). Evaluación de la tolerancia a salinidad y sodicidad de cuatro especies de pasto, en un suelo salino sódico de un bosque urbano. *AgroFaz*, 14(2), pp. 79- 82
- Goulson, D., Nicholls, E., Botias, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255957–1255957. doi:10.1126/science.1255957
- Grubert, D., Butenschoen, O., Maraun, M. y Scheu, S. (2016). Understanding earthworm – Collembola interactions and their importance for ecosystem processes needs consideration of species identity. *European Journal of Soil Biology*, 77, 60–67. doi:10.1016/j.ejsobi.2016.10.001
- Güler, M., Arslan, H., Cemek, B. y Erşahin, S. (2014). Long-term changes in spatial variation of soil electrical conductivity and exchangeable sodium percentage in irrigated mesic ustifluvents. *Agricultural Water Management*, 135, 1–8. doi:10.1016/j.agwat.2013.12.011
- Habova, M., Pospisilova, L. y Formanek, P. (2016). Biological parameters of soil quality in haplic cambisol. *MendelNet*, 407-410.
- Huu Chien, H., Tokuda, M., Van Minh, D., Kang, Y., Iwasaki, K. y Tanaka, S. (2018). Soil physicochemical properties in a high-quality tea production area of Thai Nguyen

province in northern region, Vietnam. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1–9.

doi:10.1080/00380768.2018.1539310

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- INTA. (2014). *Aplicación Eficiente de Fitosanitarios*. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_aplicacin_eficiente_de_fitosanitarios_cap_2_fo.pdf

Jaramillo, F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

Kessler, S. C., Tiedeken, E. J., Simcock, K. L., Derveau, S., Mitchell, J., Softley, S., ... Wright, G. A. (2015). Bees prefer foods containing neonicotinoid pesticides. *Nature*, 521(7550), 74–76. doi:10.1038/nature14414

Lehmann, E., Fargues, M., Nfon Dibié, J.-J., Konaté, Y. y de Alencastro, L. F. (2017). Assessment of water resource contamination by pesticides in vegetable-producing areas in Burkina Faso. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3681–3694. doi:10.1007/s11356-017-0665-z

Lladó S, López-Mondéjar R. y Baldrian P. (2017). Forest soil bacteria: diversity, involvement in ecosystem processes, and response to global change. *Microbiol Mol Biol Rev* 81(2), pp. 1 - 27. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00063-16>

Lo, C.-C. (2010). Effect of pesticides on soil microbial community. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 45(5), 348–359. doi:10.1080/03601231003799804

- Majeed, M., Naveed, M., Riaz, M., Ma1, M. y Afzal, M. (2018). Differential impact of pesticides and biopesticides on edaphic invertebrate communities in a citrus agroecosystem. *Invertebrate Survival Journal*, 15, 31-38
- Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. (2015). *Ficha Técnica: Papa*. Lima: MINAGRI. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/25-sector-agrario/papa/207-papa?limitstart=0>
- Mogollón, J., Martínez, A. y Torres, D. (2015). Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Acta Agron*, 64 (4), pp. 315-320
- Mogollón, J., Vera, M. y Martínez, A. (2015). Efecto de los plaguicidas sobre la calidad química y biológica del suelo en sistemas de producción de hortalizas del semiárido venezolano. *Química Viva*, 14 (1), 69-89.
- Moreira, J. y Vera, J. (2016). *Contaminación por agroquímicos en agua, suelo y fruto en cultivos de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) en las comunidades: Guabital y Las Maravillas del Cantón Rocafuerte, época seca, 2016*. (Tesis de Grado). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta.
- Mostafalou, S., y Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 268(2), 157–177. doi:10.1016/j.taap.2013.01.025
- Mujica, N. y Kroschel, J. (2018). Ecological, economic, and environmental assessments of integrated pest management in potato: A case study from the Cañete Valley, Peru. *Food and Energy Security*, e00153, 1-25. doi:10.1002/fes3.153

Naga Raju, M., Golla, N., y Vengatampalli, R. (2016). *Soil Physicochemical Properties. Soil Enzymes*, 5–10. doi:10.1007/978-3-319-42655-6_2

Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M. y Vandenbulcke, F. (2013). Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 199–228. doi:10.1007/s13593-013-0151-z

Pokharel, R. R. y Zimmerman, R. (2015). Impact of organic and conventional peach and apple production practices on soil microbial populations and plant nutrients. *Organic Agriculture*, 6(1), 19–30. doi:10.1007/s13165-015-0106-6

Programa Internacional de Seguridad en Químicos-IPCS. (2009). *The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification: 2009*. Recuperado de: https://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_2009.pdf

Rather, A. y Shah, A. (2010). Consequences of pesticide pollution upon the population of Collembola (springtails) in Kashmir apple orchard edaphic ecosystem. *J. Ecophysiol. Occup. Hlt.*, 10, 9-11

Rodríguez, R., Larreal, M. y Moreno, J. (2012). Comportamiento de la conductividad eléctrica en dos series de suelo del sector caño San Miguel, municipio Mara, estado Zulia, Venezuela durante un periodo de tres años. *UDO Agrícola*, 12(4), 881-889.

Ross, S. M., McManus, I. C., Harrison, V., y Mason, O. (2012). Neurobehavioral problems following low-level exposure to organophosphate pesticides: a systematic and

meta-analytic review. *Critical Reviews in Toxicology*, 43(1), 21–44.

doi:10.3109/10408444.2012.738645

Roy, S., Roy, M. M., Jaiswal, A. K. y Baitha, A. (2018). Soil Arthropods in Maintaining Soil Health: Thrust Areas for Sugarcane Production Systems. *Sugar Tech*, 20(4), 376–391. doi:10.1007/s12355-018-0591-5

Schoonover, J. y Crim, J. (2015). An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154, 21-47.

Soil Science Division Staff. (2017). *Soil Survey Manual. Agriculture Handbook 18*.

Recuperado de: <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>

Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy, 12th edition*. USDA Natural Resources Conservation Service. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=stelprdb1252094&ext=pdf [Accesado 18 Octubre 2018]

Stark, S., Männistö, M. K., y Eskelinen, A. (2014). Nutrient availability and pH jointly constrain microbial extracellular enzyme activities in nutrient-poor tundra soils. *Plant and Soil*, 383(1-2), 373–385. doi:10.1007/s11104-014-2181-y

- Sun, J., Pan, L., Zhan, Y., Lu, H., Tsang, D. C. W., Liu, W., ... Zhu, L. (2016). Contamination of phthalate esters, organochlorine pesticides and polybrominated diphenyl ethers in agricultural soils from the Yangtze River Delta of China. *Science of The Total Environment*, 544, 670–676. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.12.012
- Svensson, M., Urinboyev, R., Wigerfelt Svensson, A., Lundqvist, P., Littorin, M., y Albin, M. (2013). Migrant Agricultural Workers and Their Socio-Economic, Occupational and Health Conditions – A Literature Review. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2297559>
- Swift, M. J., Heal, O. W., & Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. California, Estados Unidos: Blackwell Scientific Publications.
- Taylor, E., Gordon, A. y Kirk, M. (2007). Pesticide Development a Brief Look at the History. *Southern Regional Extension Forestry*. Recuperado de: https://sref.info/resources/publications/pesticide-development---a-brief-look-at-the-history/at_download/file
- Tedersoo, L., Bahram, M., Polme, S., Koljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., ... Suija, A. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346(6213), 1256688–1256688. doi:10.1126/science.1256688
- Torres, D., Rojas, P., López, M. y Zamora, F. (2009). Efectos de los insecticidas methyl-parathion, carbofuran y lamdacyhalotrina sobre la actividad biológica del suelo. *Rev. Unell. Cienc. Tec.*, 27, 18-31

United States Department of Agriculture- USDA. (1998). *Soil Quality Indicators: pH*.

Recuperado de:

https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052208.pdf

United States Department of Agriculture- USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la*

Calidad y Salud del Suelo. Recuperado de:

https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf

Vasantha-Srinivasan, P., Senthil-Nathan, S., Ponsankar, A., Thanigaivel, A.,

Chellappandian, M., Edwin, E.-S., ... Al-Dhabi, N. A. (2017). Acute toxicity of chemical pesticides and plant-derived essential oil on the behavior and development of earthworms, *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) and *Eisenia fetida* (Savigny).

Environmental Science and Pollution Research, 25(11), 10371–10382.

doi:10.1007/s11356-017-9236-6

Vats, S. (2015). Herbicides: History, Classification and Genetic Manipulation of Plants for

Herbicide Resistance. En Lichtfouse, E. (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (pp.153-192). Rajasthan, India: Springer Science.

Woodcock, B. A., Bullock, J. M., Shore, R. F., Heard, M. S., Pereira, M. G., Redhead, J., ...

Pywell, R. F. (2017). Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science*, 356(6345), 1393–1395. doi:10.1126/science.aaa1190

Zaller, J. G., König, N., Tiefenbacher, A., Muraoka, Y., Querner, P., Ratzenböck, A., ... Koller,

R. (2016). Pesticide seed dressings can affect the activity of various soil organisms and reduce decomposition of plant material. *BMC Ecology*, 16(1).

doi:10.1186/s12898-016-0092-x

Zhalnina, K., Dias, R., de Quadros, P. D., Davis-Richardson, A., Camargo, F. A. O., Clark, I. M., ... Triplett, E. W. (2014). Soil pH Determines Microbial Diversity and Composition in the Park Grass Experiment. *Microbial Ecology*, 69(2), 395–406. doi:10.1007/s00248-014-0530-2