



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Biodegradación de compuestos organofosforados utilizando  
microorganismos en suelos agrícolas**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Huaylla Soria, Sofia Milagros (ORCID: 0000-0002-3812-2164)  
Melendez Torres, Mario Alejandro (ORCID: 0000-0002-1240-1165)

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

TRUJILLO - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

El esfuerzo y trabajo va dedicado, a Dios por guiar mi camino, brindándome siempre sabiduría y protección para ir alcanzando mis metas.

A mis padres Jenner Huaylla Muñoz y Elsa Soria Torres, por ser mi fuente, mi guía y estar siempre dándome fortaleza; los amo con toda el alma. A mis hermanas Grecia, Cristal y Siria por su paciencia y apoyo en el transcurso de nuestras vidas.

A la familia Euscategui Bobadilla por su amor incondicional, por enseñarme que la unión hace la fuerza; por esos sabios consejos que guardaré toda la vida en mi corazón. A Marita, Zenón, Kevin, Rosa; pero sobre todo a mi gran amor el Ing. Luis Euscategui Bobadilla, por su paciencia, apoyo y enseñarme a nunca renunciar a esta meta trazada.

A las personas que partieron, pero que día a día llevo en mi mente y mi corazón; mis abuelos Irma Doraliza Muñoz y Antonio Huaylla, así mismo, a mi mejor amigo Brayan Alayo Camacho, siempre serán mis ángeles.

### **Huaylla Soria, Sofía Milagros**

A mis padres Silvia Torres Tuesta y Mario Melendez Guerra por inculcarme valores y aptitudes que impulsaron a cumplir con una de mis metas establecidas.

A mis compañeros que estuvieron siempre para apoyarme, a mi compañera de investigación por la dedicación y esfuerzo que entregó en el desarrollo de este proyecto.

A mi enamorada por brindarme su apoyo en el proceso de este estudio realizado y por último, a los docentes que estuvieron implicados en mi formación académica mostrando siempre un apoyo incondicional hacia mi persona.

### **Meléndez Torres, Mario Alejandro**

## **Agradecimiento**

Agradecer a la Universidad César Vallejo  
por ser la casa de estudio y alma mater  
donde se nos dio la formación  
profesional educativa.

A nuestro asesor el Dr. José Alfredo Cruz Monzón,  
por sus conocimientos y su guía que fueron claves  
para poder desarrollar esta investigación.

A cada una de nuestras familias por su paciencia,  
comprensión y sobre todo por la confianza puesta  
en cada uno de nosotros, para el desarrollo de  
esta investigación.

A nuestra directora de escuela, la Dra. Magda Rubí  
Rodríguez Yupanqui, que fue con que iniciamos nuestra  
vida universitaria, que es ejemplo de mucha dedicación y  
responsabilidad, quien siempre estuvo para resolver  
cualquier duda, quien nos aconsejó y transmitió  
muchas enseñanzas.

Y finalmente, a nuestros docentes que nos  
aportaron muchos conocimientos y consejos  
en nuestra formación profesional: Dra. Magaly  
de la Cruz Noriega, Dr. Quezada Álvarez Alberto,  
Dr. Jorge Minchola Gallardo, Dr. Fernando  
Ugaz Odar, Ing. Edgar Cortez Cochallaye,  
Dra. Rocio de Pilar Castro.

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	8
3.2 Escenario de estudio.....	8
3.3 Participantes .....	8
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	9
3.5 Procedimiento: .....	9
3.6 Rigor científico .....	11
3.7 Método de análisis de datos.....	11
3.8 Aspectos éticos .....	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
V. CONCLUSIONES.....	25
VI. RECOMENDACIONES .....	26
REFERENCIAS.....	27
ANEXOS .....	35

## Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de inclusión.....	8
Tabla 2. Combinación de palabras claves en los motores de búsqueda.....	10
Tabla 3. Identificación y caracterización de bacterias que degradan compuestos organofosforados.....	14
Tabla 4. Identificación y caracterización de hongos que degradan compuestos organofosforados.....	16
Tabla 5. Condiciones físicas para el crecimiento bacterias degradadoras de compuestos organofosforados.....	18
Tabla 6. Condiciones físicas para el crecimiento de hongos degradadores de compuestos organofosforados.....	23

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema del proceso de búsqueda de los artículos seleccionados.....	10
Figura 2. N° de artículos en relación a los años durante la búsqueda inicial.....	12
Figura 3. Efectividad de bacterias degradadoras de organofosforados.....	19
Figura 4. Tiempo de degradación en días con bacterias.....	20

## Resumen

Los organofosforados son un tipo de plaguicidas ampliamente utilizados en el sector agrícola. Estos compuestos químicos son altamente tóxicos, su uso excesivo ha causado gran deterioro en los ecosistemas y la salud humana. La biorremediación surge como una alternativa para transformar los organofosforados en compuestos más simples y poco contaminantes mediante el uso del potencial metabólico de los microorganismos. El objetivo de la presente investigación fue la realización de una revisión sistemática de la literatura existente en las bases de datos de acceso libre en Researchgate, Ncbi, Science Direct, Science Alert, DOAJ; de los años comprendidos de 2013-2020, con lo cual se lograron recuperar 13 artículos. La búsqueda se realizó usando palabras clave los cuales permitieron evaluar a los microorganismos que tienen capacidad para degradar compuestos organofosforados en suelos agrícolas. La evaluación realizada permite afirmar que las especies de mayor efectividad reportadas con capacidad de degradación de organofosforados presentes en el suelo fueron el *Stenotrophomonas acidaminiphila* y el *Agaricus bisporus* y *Trametes versicolor*, que corresponden al grupo de bacterias y hongos respectivamente. Asimismo, la degradación de compuestos organofosforados depende de las condiciones ambientales en las que se encuentre el suelo, tales como la temperatura y pH.

**Palabras Clave:** Revisión sistemática, suelos agrícolas, organofosforados, microorganismos, degradación.

## **Abstract**

Organophosphates are a type of pesticide widely used in the agricultural sector. These chemical compounds are highly toxic, and their excessive use has caused great deterioration in ecosystems and human health. Bioremediation emerges as an alternative to transform organophosphates into simpler and less polluting compounds by using the metabolic potential of microorganisms. The objective of this research was to carry out a systematic review of the existing literature in the databases of free access in Researchgate, Ncbi, Science Direct, Science Alert, DOAJ; of the years from 2013-2020, with which 13 articles were recovered. The search was conducted using keywords which allowed the evaluation of microorganisms that have the capacity to degrade organophosphate compounds in agricultural soils. The evaluation carried out allows us to affirm that the most effective species reported with the capacity to degrade organophosphates present in the soil were *Stenotrophomonas acidaminiphila* and *Agaricus bisporus* and *Trametes versicolor*, which correspond to the group of bacteria and fungi respectively. Also, the degradation of organophosphate compounds depends on the environmental conditions in which the soil is found, such as temperature and pH.

**Keywords:** Systematic review, agricultural soils, organophosphates, microorganisms, degradation.



## I. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad se ha evidenciado, que el uso de los plaguicidas sirve como base fundamental para ayudar a combatir las plagas que afectan en los cultivos de la agricultura (Marín y Jaramillo, 2015, p. 2) (Ahmed y Hendawi, 2014, p. 3), sin tener en cuenta que su uso excesivo generaría terribles consecuencias en el suelo (Jiang, et al. 2019, p. 1), debido a que disminuye los nutrientes que la planta necesita para su desarrollo, generando repercusiones en el ambiente y en las cosechas (Jiangwei, et al. 2019, p. 2).

La utilización de plaguicidas ha demostrado efectos dañinos en el medio ambiente y sobre todo a la salud del ser humano (Gómez y Luna, 2018, p. 2). Se han realizado diversas investigaciones, indicando los efectos negativos a los organismos que están presentes en el suelo (Abd, et al. 2016, p. 3) (Botero, et al. 2016, p. 2) (Shah, et al. 2017, p. 2); y se pudieron relacionar algunos problemas de salud, con la exposición a plaguicidas y diversos agroquímicos (Buvaneswari, et al. 2017, p. 2).

Los plaguicidas son sustancias tóxicas muy persistentes (Savitha y Saraswathi, 2012, p. 2); el excesivo uso de estos compuestos se almacena en el suelo, causando salinización, acumulación de metales pesados, eutrofización del agua y la acumulación de nitrato (Sakshi, et al. 2019, p. 4)

Los compuestos organofosforados son sustancias sintéticas que son usadas con mayor frecuencia en el sector agrícola con el objetivo de controlar y combatir diversas plagas (Bermúdez, et al. 2016, p. 3). A nivel mundial se estima que el 40% de la producción agrícola emplea en sus cosechas este tipo de compuestos (Moreno, et al. 2014, p. 2). El uso excesivo de organofosforados ha llevado consigo un gran daño a los suelos cultivables (Nguyen et al., 2016, p.3) (Ockleford et al., 2017, p.1), ocasionando problemas de salud al agricultor y a todas las personas que ingieren sus productos por los residuos que dejan los plaguicidas y se quedan impregnados en el alimento (Jiangwei, et al. 2019, p. 2). Algunos ingredientes activos de los organofosforados han sido reportados sus propiedades mutágenicas, cancerígenas y teratogénicas (Akbar y Sultan, 2015, p.

3) (Sharma, et al. 2016, p.3); asimismo, el daño que ocasiona al sistema inmune, nervioso y/o sistema endocrino. Debido a esto alrededor de 400 personas fallecen cada año a nivel mundial (Santanu, et al. 2015, p. 3).

La biodegradación de compuestos organofosforados con microorganismos en suelos agrícolas, presenta un enorme potencial en la mitigación de la contaminación ambiental (Jiangwei et al. ,2019, p. 2) (Gonzales, et al. 2020, p.1). Si se llegara a comprender los mecanismos de degradación, es posible que se desarrollen tecnologías para aumentar la eficiencia de la degradación (Palanimanickam y Sepperumal, 2016, p.3). Bajo los argumentos antes mencionados, surge la siguiente interrogante ¿Qué microorganismos han demostrado capacidad para degradar compuestos organofosforados en suelos agrícolas? Así mismo, se estableció como objetivo general identificar y caracterizar a los microorganismos reportados en la literatura científica de acceso libre que tienen capacidad para degradar compuestos organofosforados en el suelo y que pueden servir para proponer condiciones más generales de su utilización en suelos agrícolas; por otro lado , los objetivos específicos fueron, evaluar las condiciones de degradación de compuestos organofosforados que permiten mayor efectividad en la recuperación de suelos contaminados, identificar la especie que permite mejores resultados en el proceso de degradación y por último, proponer un consorcio microbiano como base fundamental para investigaciones futuras sobre degradación de compuestos organofosforados.

## II. MARCO TEÓRICO

Los plaguicidas son sustancias químicas que se clasifican en: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y tiocarbamatos que se usan en la agricultura para prevenir, destruir o controlar vectores que afectan el desarrollo del cultivo, generando cambios en la producción y la calidad del producto (Abd, et al., 2016, p.2). El 36 % de los plaguicidas en el mercado mundial pertenecen a los compuestos organofosforados, estos productos químicos se vienen utilizando hace más de 60 años (Briceño et al. 2012, p. 2) (Cycoñ et al. 2013, p.2). Para la aplicación de estos compuestos es necesario saber la toxicidad del producto, la estabilidad, el grado de penetración, semejanza química, el campo de acción, etc. (Sharma, et al., 2016, p.2).

Los derivados de los ácidos fosfóricos, fosfónico y fosfortoico, son llamados compuestos organofosforados, se caracteriza por tener una toxicidad aguda, la estructura química, la vida media y su campo de aplicación (Palanimanickam y Umamaheswari, 2018, p.3). Los organofosforados son liposolubles y tiene una elevada tensión de vapor a temperatura ambiente, generando el ingreso por diferentes vías hacia el cuerpo humano, produciendo alteración a todos los sistemas del cuerpo humano (Jie Jiang, et al., 2019, p.2). Por otra parte, estos compuestos químicos tienen la capacidad de inhibir la actividad normal de la acetilcolina esterasa para generar alteraciones al sistema nervioso del insecto con la condición de matarlos, este proceso dura horas o días (Taozhong Shi, et al. 2019, p. 3). El principal mecanismo de biorremediación es en suelo y agua ya que son degradados por vía abiótica y biótica, por microorganismos capaces de degradar estos compuestos químicos (Jayasri, Dhananjaya y Mallikarjun, 2015, p.2).

Los compuestos organofosforados provocan alteraciones al ecosistema del suelo reduciendo su capacidad nutritiva, ya que tiene características de movilidad, bioacumulación, toxicidad, etc. Generando vulnerabilidad a otros tipos de plagas, y por consecuencia el constante uso de estos compuestos químicos, contaminando cuerpos de aguas cerca a los cultivos y arriesgando la vida del agricultor (Gonzales, Choquenaira y Ramírez, 2020, p. 4).

En la Investigación de (Marín y Jaramillo , 2015., p.3) , informa en su maestría “Utilización de bacterias capaces de degradar compuestos organofosforados en suelos”; que tuvo por objetivo la utilización de microorganismos eficientes con la capacidad de degradar compuestos organofosforados de suelos, utilizándolo como fuente de energía para su desarrollo , la cual se tomó diferentes muestras de suelo para saber a qué tipo de suelo pertenece, analizaron todas sus características físicas del suelo y a la vez fue sometido a extracción Soxhlet. Teniendo como conclusión la detección de presencias de microorganismos con capacidad de degradar estos productos químicos y también fueron capaces de desarrollarse en medios saturados con organofosforados.

Según (Tirado, Jaramillo y Bermúdez, 2016, p.3 ), en su artículo de investigación de “bacterias degradadoras de pesticidas organofosforado presentes en suelos contaminados”; tuvo como finalidad la caracterización de microorganismos biodegradadores de compuestos organofosforados en tres muestras de una propiedad contaminada con estas, de acuerdo a la metodología se tamizaron las muestras de suelo para luego realizar identificación de microorganismos, ya que se necesitaron microorganismos tolerantes a este contaminante y sea más rápido su degradación, una de las bacterias identificadas fue la especie de *Pseudomonas aeruginosa* la cual tuvo una respuesta biodegradadora de estés compuestos.

Por otro lado, la persistencia de estos compuestos organofosforados es de 120 días en el suelo (Stamatiu, et al, 2015, p. 2). La mayoría de estos microorganismos utilizan estos compuestos químicos como única fuente de carbono (Khan, et al, 2016, p. 2). La acumulación del contaminante produjo una tolerancia en los microorganismos ocasionando en estos una transformación y/o degradación (Gonzales, et al, 2020, p. 2). La riqueza microbiana sirve como base fundamental para el desarrollo del suelo (Aswathi, et al. 2019, p. 3) los microorganismos como descomponedores cumplen un rol importante en el enriquecimiento y mejoramiento de la textura del suelo, así como también en la capacidad de retención de agua (Supreeth, et al, 2016, p. 1).

En la industria agrícola, el compuesto organofosforado llamado Clorpirifos es uno de los más utilizados por presentar buenos resultados en la eliminación de plagas (Fatemeh Amani, et al., 2019, p.2) Este compuesto posee una toxicidad intermedia para los mamíferos, sin embargo su uso es cada vez mayor en la agricultura, por lo tanto debería tener las restricciones por ser altamente tóxicos como los tiene el diclorvos y el forato, entre otros (Xin Wang, et al. 2019, p.3) (Jaramillo y Marín, 2015, p.3). Este compuesto organofosforado tiene una persistencia en el suelo de 10 a 120 días Posee muy baja solubilidad en agua ya que es aceitosa, sin embargo, es necesario de otros compuestos químicos para mejorar la solubilidad, la mayoría de disolventes son orgánicos, Srinivasulu M., et al. 2017, p. 3).

El suelo se define como la parte superior de la corteza terrestre clasificado por diferentes horizontes, en la cual está formada por partículas minerales gracias a la meteorización de la roca madre, de igual modo los macro y microorganismos actúan sobre las rocas desintegrándolo siendo la razón principal de la composición del suelo ya que en ella se produce la vida animal y vegetal que se desarrolla en las actividades humanas: La meteorización ha

producido minerales en el suelo; el agua es un factor muy importante ya que interactúa en cambio de nutrientes, sales y arcillas; la fermentación o respiración de microorganismos que generan gases que condicionan la meteorización del ambiente oxidante o reductor y que las sales también influyen en la estructura y propiedades químicas del suelo ayudando a las plantas y microorganismos en la obtención de sus nutrientes (Jhon, Varghese y Jisha, 2018, p.2).

Con el objetivo de que las plantas tengan una mejor producción es necesario identificar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo que reducen el desarrollo de las plantas, con el objetivo de tomar medidas preventivas. La propiedad química del suelo por excelencia es el nivel de acidez o pH (potencial de iones o hidrogeniones). El valor del nivel de pH se expresa en concentración de los iones libres de hidrogeno ( $H^+$ ) en la solución del suelo. Si la concentración de  $H^+$  es alta, el rango de pH será mayor y menor la acidez. El rango del pH va del nivel 0 a 14. El nivel de pH en los suelos agrícolas varía entre 4 a 10, entre más bajo el nivel de pH se encontrará más  $Al^{3+}$  y en estas condiciones de acidez del suelo la planta no podrá absorber los nutrientes necesarios y se verá vulnerable a plagas y cuando el nivel de pH es mayor de 5,5 se neutraliza el  $Al^{3+}$  y deja de causar problemas en los cultivos (Santanu, et al., 2015, p.3).

Según (Sánchez, et al., 2015, p.2) en su investigación sobre los microorganismos del suelo y biofertilización menciona que el suelo es el hábitat de múltiples seres activos. La totalidad de la biomasa activa de nuestro mundo se aloja en el suelo, donde se logran descubrir un enorme importe de microorganismos, la cual son esenciales para el proceso de la vida en el planeta, formando un papel significativo en la alineación y estructura del territorio y en la movilización de alimentos. Se hallan bacterias, algas, protozoos y hongos a horizonte microscópico y también se encuentra nematodos, artrópodos (lombrices de tierra), moluscos; que son muy

importantes porque ellos ejecutan su ciclo biológico en el suelo, mientras que otros solo son simples poblaciones ocasionales o se encuentran en determinados períodos.

Según (Shamsa Akbar y Sikander Sultan, 2016, p. 2) en su investigación sobre bacterias del suelo que muestran un potencia de degradación del Clorpirifos y que mejora el crecimiento de las plantas nos menciona que la biorremediación es un método que utiliza microorganismos para degradar compuestos organofosforados, son muy rentables y confiables; estos microorganismos han ayudado a muchos suelos agrícolas ya que tiene un gran potencial degradador y que convierte a estos químicos en compuestos más simples.

En los sistemas de biorremediación de suelos contaminados por compuestos organofosforados los hongos filamentosos tienen característica capaz de usar estos compuestos como fuente de energía y que no necesitan requerimientos tecnológicos. (Sánchez, et al., 2015). Una de las características importantes es que pueden desarrollarse bajo condiciones de estrés ambiental, lo que las bacterias tienen limitaciones, Además el hongo puede llegar a desarrollarse en gran escala. De esta forma, el hongo presenta una gran capacidad de biodisponibilidad y por consecuencia la incrementación de la biodegradación (Myleidi Vera, et al., 2020).

Según (Wang X., et al., 2019, p. 4) en su investigación sobre remediación del suelo contaminado con Clorpirifos utilizando hongos de podredumbre blanca inmovilizados nos informa que los hongos son microorganismos que tienen un sistema enzimático ligninolítica extracelulares contienen lignina peroxidasa, magnesio peroxidasa y lacasas que tiene la capacidad de atacar a los compuestos más complejos convirtiéndolos en compuestos más simples o hasta eliminándolos; en la actualidad se presenta que el uso de estos hongos de podredumbre blanca en contaminantes ambientales son muy eficientes ya que no necesitan ser acondicionados para desarrollarse.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo cualitativa, no experimental y básica. Corresponde a una revisión sistemática que aporta información para otras investigaciones.

#### 3.2 Escenario de estudio

Este estudio estuvo basado en los artículos de las bases de datos consultados que contienen información sobre suelos agrícolas contaminados con compuestos organofosforados, con metodologías a nivel de laboratorio.

#### 3.3 Participantes

Se extrajeron un total de 105 publicaciones sobre temas relacionados a la investigación de la revisión sistemática, que brindan información sobre la degradación de plaguicidas organofosforados mediante el uso de microorganismos. De tal manera, se seleccionaron a 13 artículos que cumplieran con los siguientes criterios de inclusión:

Tabla 1. *Criterios de inclusión*

Criterio	Inclusión
Tipo de literatura	Artículos re revistas indexadas
Acceso de literatura	Abierto
Tipo de suelo	Agrícola
Factores a considerar	Tiempo, % de degradación
Años de publicación	2013-2020

Fuente: Elaboración propia.



### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizó una revisión sistemática en las siguientes bases de datos: Researchgate, Scielo, Ncbi, Science Direct, Science Alert, DOAJ y Springer Link.

### 3.5 Procedimiento:

La manera en la que se realizó la recolección de información fue a través de la fijación de palabras claves en las rutas específicas de búsqueda de las bases de datos consultadas.

Tabla 2. *Combinación de palabras claves en los motores de búsqueda.*

N°	Base de datos	Palabras claves
1	Researchgate	"microorganisms" or "organophosphates" and "remediation" or "degradation".
2	Scielo	degradation of organophosphates or "degrading microorganisms" and "agricultural soils" or "persistent organophosphates".
3	Ncbi	"organophosphate degradation" or "degrading microorganisms".
4	Science Direct	"organophosphate degradation" or "degrading microorganisms".
5	Science Alert	"organophosphorus compounds" or "agricultural soils" and "degrading bacteria" or "effective microorganisms".
6	DOAJ	degrading bacteria" or "microorganisms" and "organophosphates" or "pesticides".
7	Springer Link	"degrading microorganisms" or "organophosphorus compounds".

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1 se presenta el esquema del proceso de clasificación de estos estudios.

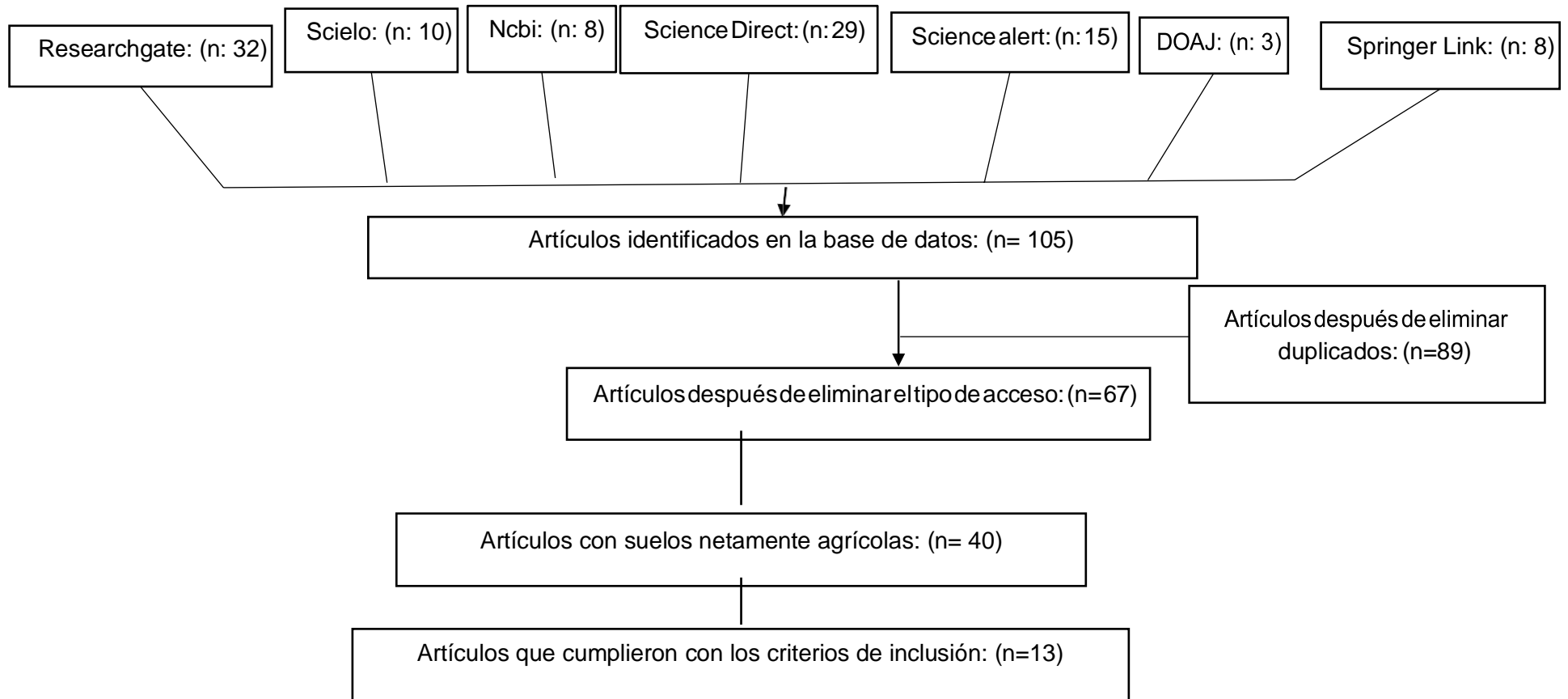


Figura 1. Esquema del proceso de búsqueda de los artículos seleccionados.

Elaboración prop

### **3.6 Rigor científico**

Se utilizaron en la presente investigación artículos pertenecientes a revistas indexadas contenidas en bases de datos reconocidas que presentan altos estándares de calidad y rigor científico de revisión y cuyo resultado se respaldan por la credibilidad de sus investigadores. Asimismo, todas las investigaciones utilizadas figuran en Scimago Journal & Country Rank, que es donde se establece la calidad de las publicaciones científicas.

### **3.7 Método de análisis de datos**

La información se tabuló en hojas de cálculo del office Excel versión 2016, asimismo, la metodología y resultados fueron presentados en tablas y figuras en donde se presentó información relevante para sistematizar las observaciones y conclusiones de la presente investigación.

### **3.8 Aspectos éticos**

El presente trabajo de investigación se ha elaborado con fuentes confiables y verídicas, ya que toda la información que se presenta en este estudio fueron de revistas indexadas. Asimismo, se respetó el derecho de los autores en cuanto a su autenticidad y acceso netamente abierto.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de los artículos seleccionados

En base a la indagación en las bases de datos se recuperaron un total de 514 artículos, comprendido de la siguiente manera: 120 pertenecen a Researchgate, 134 a Scielo, 20 a Ncbi, 115 a Science Direct, 65 a Science Alert, 29 a DOAJ y finalmente 31 pertenecen a Springer Link; resultados que se consolidaron por año de publicación y que se muestran en la figura N° 2



Figura 2. N° de artículos en relación a los años durante la búsqueda inicial.

Elaboración propia

En la figura 2 se observa el creciente interés por estudiar a los microorganismos que degradan los compuestos organofosforados (Gonzales, Choquenaira y Ramírez, 2020) (Stamatiu, et al. 2015) (Romeh y Hendawi, 2014), se evidencia que en los años 2018 y 2019 se tiene un número considerable de artículos, lo cual demuestra el buen posicionamiento que han tenido las investigaciones en la materia estudiada a través de los años (Jiangwei, Zhao y Ruan, 2019) (Bhardwaj y Verma, 2018). Esto podría indicar que el uso de microorganismos que degradan los compuestos organofosforados constituyen una herramienta muy útil y de relativamente bajo costo (Fatemeh, et al. 2019), mejorando la calidad del suelo y la producción de la planta (Jie Jiang, et al. 2019) (Srinivasulu, et al. 2016).

Lamentablemente, las ventajas que dan estos compuestos, han ido asociados de daños, muchos de ellos tan peligrosos que ahora representan un peligro para la conservación de importantes ecosistemas a largo plazo (Jaramillo, Bermúdez y Tirado, 2016) (Xin Wang, et al. 2019), como efecto de la alteración de las relaciones depredador-presa y la degradación de biodiversidad. (John, et al. 2018).

Quizás otra de las razones por la cual se está haciendo cada vez más común este tipo de investigaciones es debido a que los indicadores biológicos muestran tendencia a través del tiempo; es decir se pueden comparar condiciones pasadas y presentes.

A continuación, se identificó y caracterizó los microorganismos que participaron en la degradación de los compuestos organofosforados. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Identificación y caracterización de bacterias que degradan compuestos organofosforados.

Compuestos organofosforados	Bacterias	Referencia	Año
Clorpirifos	<i>Bacillus aerius</i>	Jayasri, M., Dhananjaya, N & Mallkarjun, M	2015
	<i>Bacillus Subtilis</i>	Atul Bhardwaj & Neelam Verma	2018
Quinalpos	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Gangireddygarl, et al.	2019
Malation	<i>Bacillus licheniformis</i>	Sara Khan, et al.	2016
Procloraz- Manganeso	<i>Bacillus cereus</i>	Jie Jiang, Meizhen Tang, Junfeng Chen, Yuewei Yang	2019
Clorpirifos	<i>Cupriavidus nantongensis</i>	Taozhong Shi, et al.	2019
3,5,6-tricloro-2-piridinol	<i>Cupriavidus sp</i>	Peng Lu	2013
Metil paration	<i>Klebsiella sp</i>	Geng Fangfang, et al.	2014
Clorpirifos	<i>Klebsiella sp</i>	Mary, Jhon; M. Varghese; N. Krishnasree & M. Jisha.	2018
Forato	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Ying-Hua Zhang, et al.	2016
Clorpirifos			
Triazofos	<i>Stenotrophomanas acidaminiphila</i>	Shuyan Deng, et. Al.	2015
Profenofos			
Paration			
Foxin			
Diazinon			
Metil paraoxon			
Metil paration			
Clorpirifos			

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se puede observar las bacterias que han sido utilizadas en los artículos seleccionados, participando en el desarrollo de degradación de los compuestos organofosforados, donde el género que más resalta es el *Bacillus sp.* (Jhon, Varghese y Jisha, 2018) (Jayasri, Dhananjaya y Mallikarjun, 2015).

Las bacterias en presencia de un patrón organofosforado, toman sus fuentes carbonadas. (Gen Fangfang, et al. 2014). Además (Bhardwaj y Verma, 2018), indicaron que el *Bacillus subtilis* aislado tiene la ventaja de tolerar un amplio rango de condiciones iniciales a la concentración del compuesto organofosforado, desarrollando nuevos métodos colorimétricos, para estudiar la eficacia de la utilización de aislamiento. De tal manera, existen bacterias que pueden degradar compuestos organofosforados complejos por medio de diversas rutas metabólicas bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas. (Jayasri, Dhananjaya y Mallikarjun, 2015). Cada una de ellas se desarrolla en diferentes medios de cultivo, como el medio de enriquecimiento que permite controlar los nutrientes y las condiciones del medio (Jie Jiang, et al., 2019, p.2).

Las enzimas del suelo están presentes en dos formas, intracelular (dentro de bacterias y hongos) o extracelular (enzimas inmovilizadas en partículas del suelo). De tal manera estas enzimas llevan a cabo reacciones que transforman los organofosforados por oxidación, reducción o hidrólisis, produciendo metabolitos más solubles en agua y menos tóxicos que los compuestos originales. Por consiguiente, estos metabolitos podrían estar generando fosfato inorgánico y enzimas bacterianas como la fosfatasa, lo cual desarrollan su capacidad de captar este tipo de moléculas en medios libres de fosfato, permitiendo el crecimiento de las colonias (Taozhong Shi, et al. 2019).

Una de las cepas de *Bacillus* fue identificado mediante la secuencia del gen 16rRNA que se basa en el porcentaje de homología la cual identificó como *Bacillus licheniformis*, donde se extrajo el ADN genómico de la cepa y se realizó utilizando el método de Sambrook (Sara Khan, et al. 2016, p. 3).

Además, la bacteria *Stenotrophomonas acidaminiphila* tiene la capacidad de degradar hasta 8 tipos de compuestos organofosforados como son los Triazofos,

Profenofos, Paration, Foxin, Diazinon, Metil paraoxon, Metil paration y Clorpirifos, y que algunos metabolitos indican que los compuestos organofosforados son hidrolizados en un enlace fosfotriéster (Jayasri, Dhananjaya y Mallikarjun, 2015) (Sara Khan, et al. 2016, p. 3) y que esta cepa no puede degradar los demás compuestos organofosforados debido a la estructura química del compuesto, esta cepa fue identificada como una bacteria gram negativa, y que en la prueba de rojo metilo, catalasa, prueba de VP y oxidación de alcohol dio positiva, pero en la prueba de Tween 80 de ureasa fue negativa; también fue identificada por su homología según el gen 16S rDNA (Shuyan Deng, et al. 2015).

La cepa de *Cupriavidus* tiene un metabolito intermedio que puede degradar y mineralizar el TCP en un entorno anaeróbico desde la dechloración hasta el anillo de piridina escindido, esta cepa fue aislada y caracterizada por un laboratorio externo (Peng Lu, 2013, p. 11). Así mismo (Bhardwaj y Verma, 2018), identificaron que el TCP es más móvil que la molécula parental, debido a su mayor solubilidad en agua, lo cual causa la contaminación generalizada, de ambientes acuáticos y en suelos.

Tabla 4. *Identificación y caracterización de hongos que degradan compuestos organofosforados.*

Compuestos organofosforados	Hongos	Referencia	Año
Clorpirifos	<i>Phlebia sp</i>	Xing Wang, et al.	2019
	<i>Lenzites betulinus</i>		
Diazinon	<i>Agaricus bisporus</i>	Myleidi Vera, et al.	2020
	<i>Trametes versicolor</i>		

Fuente: Elaboración propia.

Los hongos identificados son de clase *Agaricomycetos* que son de especialistas en la pudrición de la madera, la cual se utilizaron en la degradación de compuestos organofosforados, estos hongos fueron proporcionados por laboratorios de instituciones reconocidas, la cual tuvieron una activación correspondiente para luego ser trabajados. Los hongos *Phlebia sp* y *Lenzites beutlinus* fueron aisladas



de un suelo agrícola con un soporte de paja de maíz, mazorcas de maíz, astillas de madera y cascaras de maní (Xin Wang, et al. 2019, p. 5). Mientras que los hongos *Agairus bisporus* y *Trametes versicolor* fueron caracterizados por microesferas poliméricas para la inmovilización de lacasa utilizando el monómero GMA, luego se identificaron por tamaños y morfología de la superficie de microesfera PGMA y lacasa-PGMA mediante el análisis SEM utilizando un microscopio electrónico de barrido JEOL 6380LV. (Myleidi Vera, et al. 2019). Los hongos como el *Trametes versicolor* pueden disminuir diversos contaminantes la secreción de enzimas. Además, existen sistemas constituidos por mezclas de residuos vegetales, composta o turba y suelo. Podría ser, que para incrementar su capacidad y la velocidad de degradación de organofosforados en las biocamas (sistema de biorremediación), se busca favorecer el desarrollo de inoculación de hongos ligninolíticos. Sin embargo, el potencial de estos hongos puede ser inhibido por la rápida invasión y competencia de otros microorganismos presentes en los diferentes sustratos utilizados.

Tabla 5. Condiciones físicas para el crecimiento de bacterias degradadoras de compuestos organofosforados.

Compuestos organofosforados	Bacterias	Condiciones Físicas		% de Degradación	Tiempo (días)	Referencia	Año
		pH	Temperatura				
Clorpirifos	<i>Bacillus aerius</i>	5 y 6	35	85	14	Jayasri, M., Dhananjaya, N & Mallikarjun, M	2015
	<i>Bacillus Subtilis</i>	8	37	85	5	Atul Bhardwaj & Neelam Verma	2018
Quinalpos	<i>Bacillus thuringiensis</i>	6.5 a 7.5	35 a 37	72	2	Gangireddygarl, et al.	2019
Malation	<i>Bacillus licheniformis</i>	7	60	78	5	Sara Khan, et al.	2016
Procloraz-Manganeso	<i>Bacillus cereus</i>	8	37	90.7	2	Jie Jiang, et al.	2019
Clorpirifos	<i>Cupriavidus nantongensis</i>	5 a 9	37	75	2	Taozhong Shi, et al.	2019
3,5,6-tricloro-2-piridinol	<i>Cupriavidus sp</i>	6	30	94.4	35	Peng Lu	2013
Metil paration	<i>Klebsiella sp</i>	7	30	100	7	Geng Fangfang, et al.	2014
Clorpirifos	<i>Klebsiella sp</i>	-	37	82.4	21	Mary, Jhon; M. Varghese; N. Krishnasree & M. Jisha.	2018
Forato	<i>Lactobacillus plantarum</i>	-	20	24.9	70	Ying-Hua Zhang, et al.	2016
Clorpirifos							
Triazofos	<i>Stenotrophomonas acidaminiphila</i>	8	37	34	24	Shuyan Deng, et. Al.	2015
Profenofos			37	38			
Paration			37	95			
Foxin			37	100			
Diazinon			37	100			

Metil paraoxon			40	100		
Metil paration			40	100		
Clorpirifos			37	63		

Fuente: Elaboración propia

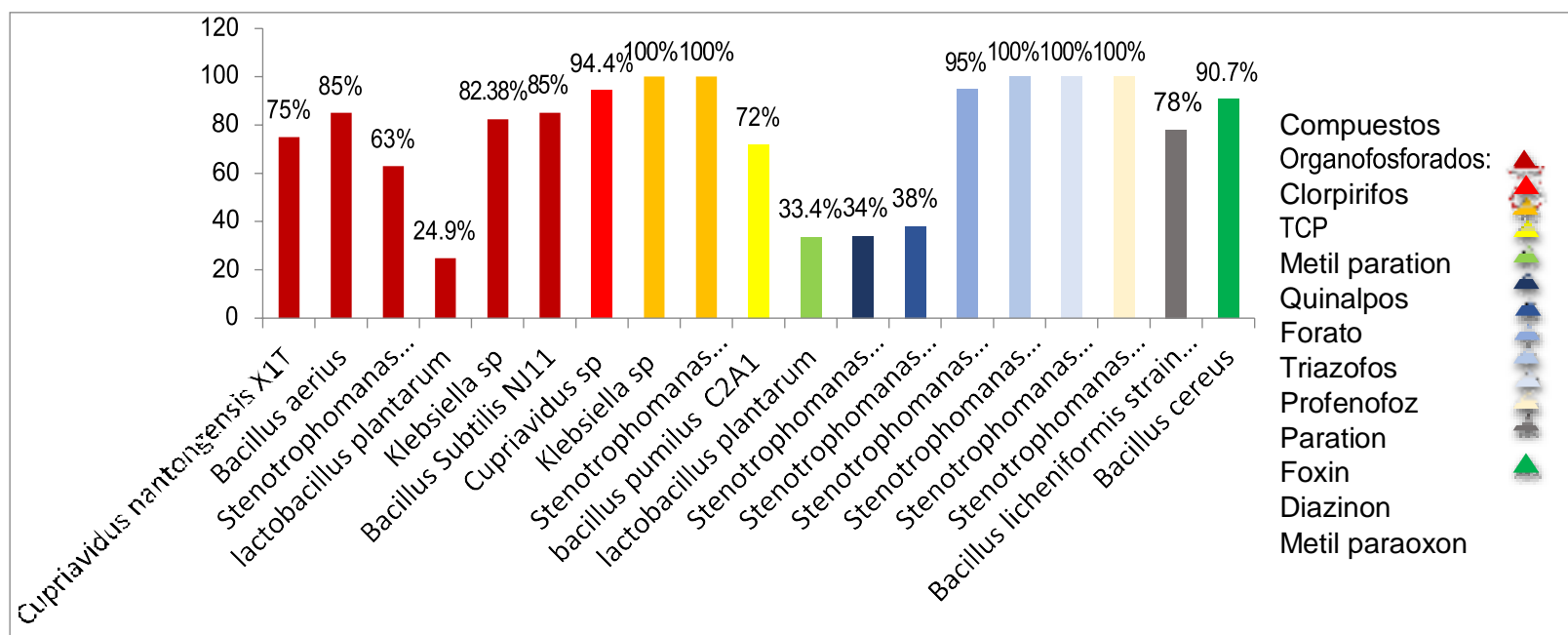


Figura 3. Efectividad de bacterias degradadoras de organofosforados.

Elaboración propia.

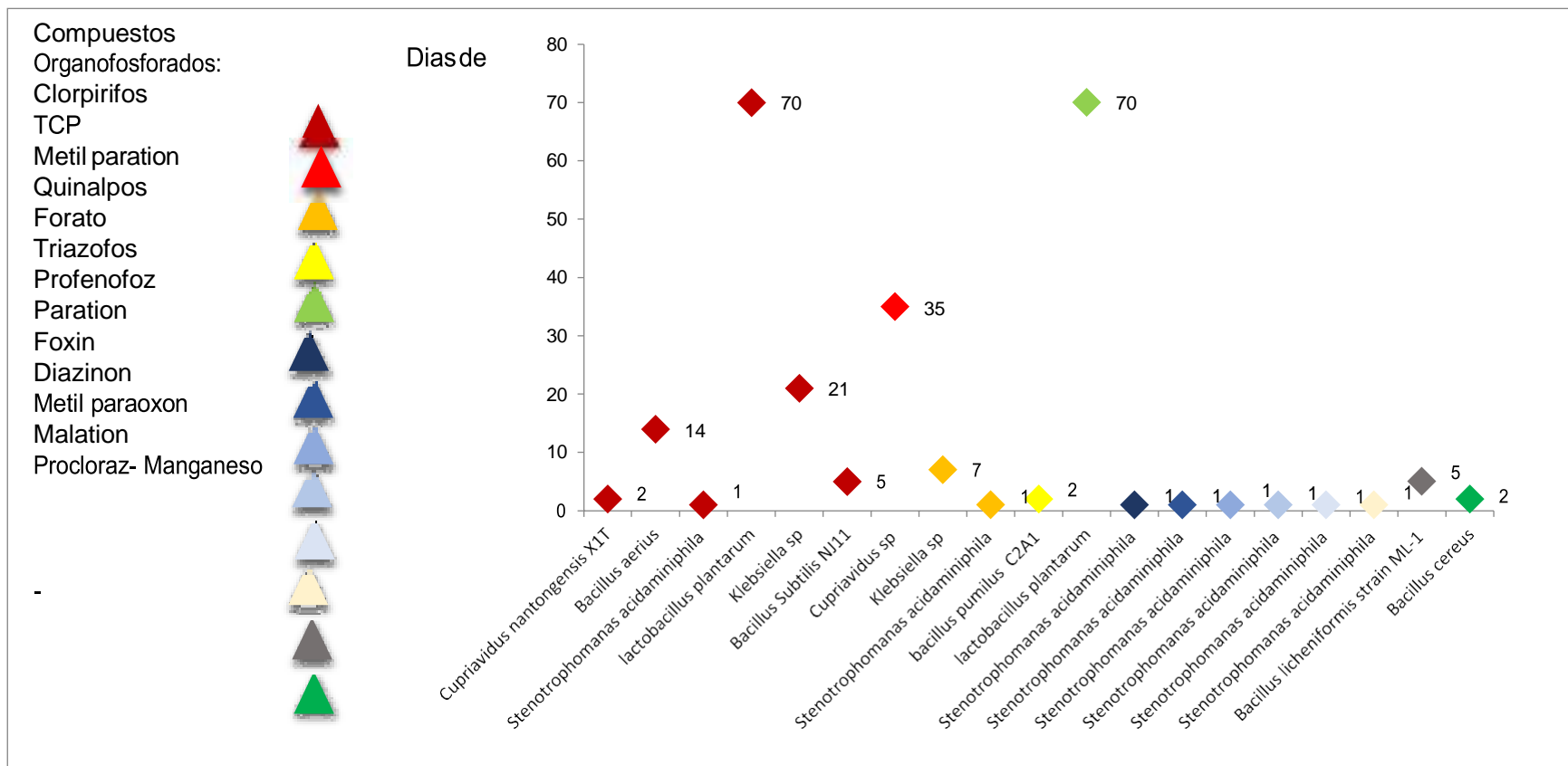


Figura 4. Tiempo de degradación en días con bacterias.

Elaboración propia.

En la Tabla 5 se presentan las condiciones físicas que se han tenido en cuenta en el proceso de degradación de compuestos organofosforados con bacterias. En relación a lo mencionado, se observan los rangos más altos en cuanto al porcentaje de degradación indicando que *Klebsiella sp* y *Stenotrophomonas acidaminiphila* obtuvieron los rangos más altos degradando al compuesto Metil Paratión en un 100% de 7 a 1 día respectivamente (Geng Fangfang, et al., 2014) (Shuyan Deng, et al., 2015). Así mismo, *Stenotrophomonas acidaminiphila* degradó 7 compuestos organofosforados de los cuales tres de ellos se llegaron a degradar al 100% en solo 1 día. De tal manera, (Mary, et al.,2018, p.3), indicó que *Klebsiella sp* degradó el Clorpirifós a un 82.38% en unos 21 días siendo así la persistencia, uno de los principales problemas ambientales que plantean los organofosforados. Así como lo señala, (Bhardwaj & Verma, 2018, p.3), que la cepa de *Bacillus subtilis* degradó 85% de Clorpirifos en 5 días y durante el tiempo se encontraron concentraciones excedentes de compuestos organofosforados que influyen en la metabolización del nivel de tolerancia de los microorganismos para adaptarse a estos compuestos, desarrollando capacidades para degradar de manera rápida eficiencia de remediación de sitios contaminados. De tal manera, (Jayasri, Dhananjaya y Mallikarjun, 2015) señalaron que esto puede deberse a los diferentes factores químicos y físicos que afectan el desarrollo de los microorganismos en degradar compuestos organofosforados. Entre estos factores se encontraron, la temperatura, el pH, la concentración del plaguicida y la concentración del inóculo. (Jie Jiang, et al., 2019) (Taozhong Shi, et al. 2019) concuerdan que la mejor temperatura para degradar compuestos organofosforados oscila entre 25 °C y 37 °C, con una remoción de 150 ppm. Sin embargo, se reportan en otros artículos las limitaciones de degradación de estos compuestos, como la cepa *Lactobacillus plantarum* tuvo un 24.9 % de degradación del clorpirifos y un 33.4% en forato, esto se debe a 3 factores: la temperatura baja que fue evaluada (5°C), el estado sólido del maíz ya que retrasó el transporte de los nutrientes y el último factor fue la acumulación de agua en el maíz entero (Ying hua Zang, et al. 2016) sin embargo la cepa *Stenotrophomonas sp* puede degradar

estos compuestos mencionados anteriormente pero con un rango de tiempo mayor, ya que estos compuestos tienen un enlace químico diferente (Shuyan Deng, 2015).

La capacidad de degradación de estos compuestos organofosforados depende de las condiciones en las que van ser evaluados los microorganismos, la cepa de *Stenotrophonas acidaminiphila* degrada el Clorpirifos un 63% en 24 h en condiciones de pH 8 a una temperatura de 37° C y puede degradar a una gran cantidad de compuestos organofosforados en diferentes tiempos, ya que se fija en los compuestos de igual enlace químico, mientras que la cepa *Cupriavidus sp* actúa en el residuo que deja un compuesto, quiere decir que la cepa *Stenotrophonas sp* degrada el Clorpirifos o lo transforma en TCP, mientras que la cepa *Cupriavidus sp* utiliza el TCP como fuente de carbono para su desarrollo (Shuyan Deng, et al. 2015) (Peng lu. 2013).

Las condiciones en las que la cepa *Bacillus Thuringiensis* puede desarrollarse es a un rango de pH de (6.5 – 7.5) y en temperatura de 35° a 37° C, sin embargo necesita de otros componentes como fuente de nitrógeno y extracto de levadura para mejorar la capacidad de degradación del quinalfos (Gangireddygarl., et al. 2017).

La cepa *Bacillus lichenformis* es capaz de degradar un 78 % de Malation en 5 días de investigación a condiciones de laboratorio de pH (5 – 8) y a una temperatura hasta 40°C, este estudio afirma que se puede utilizar este microorganismo para la biorremediación de suelos contaminados, sin embargo a las condiciones que trabaja la bacteria son nivel laboratorio, es por ello que al llevarlo al campo las condiciones ya no serán las mismas ya que son variables cambiantes, por ello se necesita que estos microorganismos seleccionados sean investigados a nivel de campo (Sara Khan, et al. 2016).

Tabla 6. Condiciones físicas para el crecimiento de hongos degradadores de compuestos organofosforados.

Compuestos organofosforados	Hongos	Condiciones Físicas		% de Degradación	Tiempo (días)	Referencia	Año
		pH	Temperatura (°C)				
Clorpirifos	<i>Phlebia sp</i>	6.8	30°	74.35	5	Xing Wang, et al.	2019
	<i>Lenzites betulinus</i>			74.29			
Diazinon	<i>Agaricus bisporus</i>	2.0 y 3.0	25°	88	2	Myleidi Vera, et al.	2019
	<i>Trametes versicolor</i>			88			

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 6 los hongos *Agaricus bisporus* y *Trametes versicolor* degradaron en un 88 % al compuesto Diazinon en 48 horas (Myleidi Vera, et al., 2020). Sin embargo, los hongos *Phlebia sp* y *Lenzites betulinus* degradaron al Clorpirifos en un 74.35 y 74.29 respectivamente en un tiempo de 120 horas (Xing Wang, et al., 2019); esto podría indicarse debido a las técnicas con las cuales se obtuvo los microorganismos; indicando así que la obtención de los hongos *Phlebia sp* y *Lenzites betulinus* fueron obtenidos de residuos como paja de trigo y rastrojo de maíz a temperaturas que iban de 25 a 35 °C y a un rango de pH de 6 a 7; los hongos *Agaricus bisporus* y *Trametes versicolor* fueron mejorados con un soporte de co-inmovilización de lacasas con una degradación inducida variando de temperatura a 50 a 70 °C adaptándose a temperaturas más altas. Estos hongos presentan tres principales sistemas enzimáticos empleados para la degradación de contaminantes ambientales. Siendo el mecanismo ligninolítico el más estudiado y aplicado en biorremediación, pues se ha demostrado que este sistema de degradación de la lignina, interviene en la oxidación de un número importante de organofosforados.

Se propuso una base para un consorcio microbiano utilizando las siguientes bacterias y hongos, las cepas *Streptomonas sp*, *Bacillus sp* y *Cupriavidus sp*, pueden utilizar estos compuestos químicos como única fuente de carbono, algunos de estos químicos están hidrolizados en un enlace fosfotriéster que proporciona una especialidad metabólica de las cepas para su degradación respectiva (Shuyan Deng, et al. 2015). sin embargo, el uso de cepas del género *Bacillus sp* brinda una alternativa de biofertilizante a los cultivos, promoviendo el crecimiento vegetal a través de la solubilización del fósforo y la producción de reguladores de crecimiento como el ácido indol acético, como también controladores de plagas (Corrales L., et al). Por otro lado, estos microorganismos son fijadores de nitrógeno cuando son parte de un consorcio microbiano ya que cada uno cumple una función y se benefician en conjunto como también a la composición efectiva del suelo. Por tal motivo (Shuyan Deng, et al. 2015) (Gangireddygar V., et al. 2017) mencionan que es necesario utilizar estos microorganismos capaces de degradar más compuestos organofosforados como consorcios para que la degradación sea completa y no genere más residuos. (Peng Lu. 2013) Indica que realizar la técnica de biorremediación ayuda al cultivo en su desarrollo.

Los hongos como *Phlebia sp*, *Lenzites betulinus*, *Agaricus bisporus* y *Trametes versicolor* tienen capacidad de crecer en suelos con nivel de pH bajos (Xin Wang, et al. 2019). Además, gracias a la extensión de sus hifas pueden alcanzar compuestos que no son biodisponibles ni biodegradables por otros microorganismos, inicialmente hidrolizan los compuestos organofosforados (Quintero J. 2011).



## V. CONCLUSIONES

Se identificaron y caracterizaron los géneros que fueron capaces de degradar los organofosforados más resaltantes en las investigaciones de acceso abierto siendo así las bacterias de especie *Bacillus sp.* y los hongos *Phlebia sp.*, *Lenzites betulinus*, *Agaricus bisporus*, *Trametes versicolor*, que sirven para mejorar la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos.

La degradación de compuestos organofosforados depende de las condiciones ambientales en las que se encuentre el suelo, tales como la temperatura (25- 37 °C) y el pH (de 5-8) siendo estos, los que van a influir decisivamente en la degradación de los organofosforados.

La bacteria *Stenotrophomonas acidaminiphila* con mayor efectividad de degradación de Metil Paration fue de 100 % en 24 horas. Respecto al hongo más eficiente fue el *Agaricus bisporus* y *Trametes versicolor* que degradaron el Diazinon a un 88% en 2 días.

Los microorganismos seleccionados para una base de consorcio microbiano fueron *Streptomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Cupriavidus sp.*, *Phlebia sp.*, *Lenzites betulinus*, *Agaricus bisporus* y *Trametes versicolor*. Los estudios de los autores sugieren que los microorganismos de consorcios, conserven la compatibilidad metabólica y ecológica siempre y cuando los cambios ambientales que se generan, permitan que ellos coexistan cercanamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que para asegurar la efectividad de la biodegradación se debe tener en cuenta factores como: la concentración de los organofosforados, la humedad, el pH, el tipo de suelo, temperatura, la concentración del inóculo y la capacidad competitiva de los microorganismos.

Realizar un estudio completo de suelos y contaminantes antes de realizar cualquier tipo de proceso de degradación.

Evaluar el cometabolismo de un compuesto organofosforado con algún sustrato que pueda potenciar su biodegradación.

Continuar con esta investigación con técnicas de biorremediación en condiciones de campo, en base a los microorganismos identificados con mayor potencial de degradación de contaminantes.

## REFERENCIAS

AHMED, Romeh y HENDAWI, Yerdi. Bioremediation of Certain Organophosphorus Pesticides by Two Biofertilizers, *Paenibacillus*(*Bacillus*) *polymyxa* (Prazmowski) and *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck). [en línea]. Egypt: Mining Technology, Vol. 16, no. 2 pp.265-276, febrero 2014. [fecha de consulta: 24 de marzo de 2020]. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/285869>

ISSN 265 276

AKBAR, Shamsa y SULTAN, Ssikander. Soil bacteria showing a potencial of chlorpyrifos degradation and plant growth enhancement [en linea]. Pakistan: Brazilian Journal of Microbiology, 2016[fecha de consulta: 20 de marzo de 2020]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.04.009>

ISSN 1678 4405

A safety type of genetically engineered bacterium that degrades chemical pesticides por Quin L. [et al] *AMB Express* 10:33 (2020) [Fecha de Consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13568-020-00967-y>

ASWATHI Aswathi, PANDEY Ashok y SUKUMARAN Rajeev. Rapid degradation of the organophosphate pesticide- chlorpyrifos by a novel strain of *pseudomonas nitroreducens* AR-3. *Bioresurce Technolog* 292, 2019. [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <http://ir.niist.res.in:8080/xmlui/bitstream/handle/>

*BACILLUS* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos por Corrales L. [et al] 2017. [Fecha de consulta: 15 de Junio del 2020] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v15n27/1794-2470-nova-15-27- 00046.pdf>

BHARDWAJ, Atul y VERMA, Neelam. Proficient Biodegradation Studies of Chlorpyrifos and its Metabolite 3,5,6-Trichloro-2-pyridinol by *Bacillus subtilis* NJ11 Strain [en línea]. India: *Research Journal of Microbiology*, Vol. 13, no. 1

pp. 53-64, febrero 2018. [fecha de consulta: 20 de marzo de 2020]. Disponible en <https://scialert.net/abstract/?doi=jm.2018.53.64>

ISSN 1816-4935

BERMUDEZ, Adriana; JARAMILLO, Beatriz; TIRADO, Irina. Organophosphorus pesticides degrading bacteria present in contaminated soils. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [en línea]. Colombia: Universidad de Cartagena, vol. 25, No. 3, noviembre 2016. [Fecha de consulta: 18 de Abril de 2020]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20023.73126>

ISSN 1010 2760

BIOREMEDIATION of Chlorpyrifos Contaminated Soil by Microorganism por Sakshi Jaiswal [et al]. India: International Journal of Environment, Vol-2, Julio 2019. Disponible en: [10.22161/ijeab/2.4.21](http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.21)

ISSN: 2456 1878

BIODEGRADATION of Chlorpyrifos, Malathion and Dimethoate by three Strains of Bacteria Isolated from Pesticide-Polluted Soils in Sudan por Abd Elaziz [et al]. Sudán :University of Khartoum. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64: 8491-8498, Mayo 2016 [Fecha de consulta: 17 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.6b03334>

BIODEGRADATION of malathion by bacillus licheniformis strain ml-1 por Khan S. [et al], Arch. Biol. Sci., Belgrade, 68(1), 51-59, 2016 [Fecha de Consulta: 11 de mayo del 2020] Disponible en <http://www.serbiosoc.org.rs/arch/index.php/abs/>

BIODEGRADATION of two organophosphorus pesticides in whole corn silage as affected by the cultured *Isctobacillus plantarum* por Zhang Y. [et al] 3 Biotech 6:73 (2016). [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-016-0364-3>

BOTERO L., UPEGUI S. Y PEÑUELO G. Microorganisms isolated from polluted urban soils highly effective in degrading recalcitrant pesticides. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. No. 80. pp. 102-107, 2016. [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43048640009>

CHLORPYRIFOS biodegradation in relation to metabolic attributes and 16S rRNA gene phylongeny of bacteria in a tropical vertisol por Ahiwar U [et al]. Springer Nature Switzerland AG 2019, 1:228 [Fecha de consulta: 28 de Abril] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0206-0>

DE CASTRO Alexandre, PRANDI Ingrid y RAMALHO Teodorico. Organophosphorus degrading enzymes: molecular basis perspectives for enzymatic bioremediation of agrochemicals. Ciencia e Agrotecnologia, 41(5):471-482, octubre 2017. [Fecha de Consulta: 18 de Mayo del 2020] Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Alexandre\\_Castro4/](https://www.researchgate.net/profile/Alexandre_Castro4/)

DEGRADATION of pesticides (regent and coragen) by micro-organisms present in soil and plants por Navroop Kaur [et al]. India: Department of Microbiology. HortTechnology, Vol. 9, no. 2 pp. 182-187, enero 2016. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible <https://www.researchgate.net/publication/32206796>  
ISSN: 0976-4623

DEGRADATION of organophosphate insectice by a novel Bacillos aryabhatai strain SanPS1, isolated from soil of agricultural field in Burdwan, West Bengal, India por Santanu Pailan [et al]. International Biodeterioration & Biodegradation [en línea]. Mayo 2015, 191 195 [Fecha de consulta: 25 de Abril de 2020]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.05.006>

EFFECT of chlorpyrifos on soil microbial diversity and biotransformation by streptomyces sp. HP-11 por Supreeth M. [et al]. 3 Biotech 6:147 (2016). [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-016-0462-2>

GOMEZ, Jorge y LUNA, Jorge. Grupos funcionales microbianos en suelos contaminados con toxafeno en el departamento del cesar, Colombia. Revista Luna Azul [en línea]. Colombia: Universidad de Caldas, 47:98-113, Junio 2018[Fecha de Consulta: 17 de abril de 2020]. Disponible en [http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul47\\_6.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul47_6.pdf)  
ISSN: 1909 2474

GONZALES, Elvis; CHOQUENAIRA, Cecilia; RAMÍREZ, Álvaro. Study of the degradation of chlorpyrifos in contaminated soils in the presence of the red californian earthworm *Eisenia foetida*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. Perú: Laboratorio del Proyecto Mercurio, Vol. 36, no. 1 pp. 73-80, enero 2020. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2020.36.53201/4694> DOI: 10.20937

GUT microbial degradation of organophosphate insecticides induces glucose intolerance via gluconeogenesis por Velmurugan G. [et al] *Gemp,e Biology* 18:8(2017). [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <https://genomebiology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13059-016-1134-6>

HERNÁNDEZ, Gina, ÁLVAREZ, Natalia, y RÍOS Leonardo. Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática, *Corpoica ciencia y tecnología agropecuaria*, Colombia, 18(1):139-159(2017). [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n1/v18n1a09.pdf> ISSN 0122 8706

IDENTIFICATION and degradation characteristics of *Bacillus cereus* strain WD-2 isolated from prochloraz-manganese-contaminated soils por Jie Jiang [et al]. China: Qufu Normal University *PLoS One*, 14(8), Agosto 2019. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220975>

INFLUENCE of environmental factor son biodegradation of quinalphos by *Bacillus thuringiensis* por Venkata S. [et al], *Environ Sci Eur* 2017, 29:11 [Fecha de consulta: 28 de abril] Disponible en: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-017-0109-x>

IMPACT of glyphosate on soil microbial biomass and respiration: A metaanalysis por Nguyen [et al]. *Soil Biology & Biochemistry* [en línea]. Junio 2016. [Fecha de consulta: 18 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015> ISSN: 0038-0717

IN situ Bioremediation of Chlorpyrifos by Klebsiella sp. Isolated from Pesticide Contaminated Agricultural Soil por Elizabeth Mary [et al]. India: School of Biosciences. Current Issues in Intestinal Microbiology, Vol. 7, no. 03 pp. 1418-1429, marzo 2018. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible <https://www.researchgate.net/publication/323947034>

ISSN: 2319-7706

JIANGWEI, Zhu, YAN Zhao y HONGHUA Ruan. Comparative study on the biodegradation of chlorpyrifos-methyl by bacillus megaterium CM-Z19 and Pseudomonas syringae CM-Z6, China: Shanghai Institute: Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 91(3), febrero 2019.[Fecha de consulta: 7 de Abril de 2020]. Disponible en en <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180694>

ISSN 1678-2690

MALLLKARJUNA, Mangala; DHANANJAYA, Mayuri; JAYASRI, Yugeni. Biodegradation of the chlorpyrifos pesticide by bacteria isolated from groundnut agricultural soils in kadapa basin. Nature Conservation [en línea]. India: Department of Microbiology, marzo 2015. [Fecha de consulta: 15 de Abril de 2020]. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/281555188>

ISSN 143-146

MARIN, Luis y JARAMILLO, Beatriz. Aislamiento de bacterias degradadoras de pesticidas organofosforados encontrados en suelos y en leche bovina. Revista Chilena de Nutrición [en Línea]. Colombia: Universidad de Cartagena, vol. 42, n. o 2 Mayo 2015. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v42n2/art10.pdf>

MICROORGANISMS isolated from polluted urban soils highly effective in degrading recalcitrant pesticides por Botero Liliana [et al]. Colombia: Universidad de Antioquia. Revista Facultad de Ingeniería, n. 80, pp. 102-107, diciembre 2016. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43048640009>

ISSN 0120-6230

MORENO, David, SANCHEZ, Enrique y ORTIZ, Laura. Removal of methyl parathion and coumaphos pesticides by a bacterial consortium immobilized in luffa cylindrica, México: Universidad Autonoma del Estado de Morelos. Rev. Int Contam. Ambie, vol. 30, n.1, pp.51-63, febrero 2014. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a5.pdf>

ISSN 0188-4999

OPRIMIZATION of diazinon biodegradation from aqueous solutions by *Saccharomyces cervissiae* using response surface methodology por Mohammad H. [et al] AMB Express 7:68 (2017). [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-017-0366-5>

PALANIMANICKAM, Anitha y SEPPERUMAL, Umamaheswari. Prevalence of pesticide degrading bacteria in Paddy crop field, India: Scholars Research Librar. Der Pharmacia Lettre, 8(1):291-295, mayo 2016. [Fecha de consulta: 7 de abril de 2020]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/292987331\\_Prevalence\\_of\\_pesticide\\_degrading\\_bacteria\\_in\\_Paddy\\_crop\\_field](https://www.researchgate.net/publication/292987331_Prevalence_of_pesticide_degrading_bacteria_in_Paddy_crop_field)

PENG LU, Biodegradation of 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol by *cupriavidus sp.*DT-1 in liquid and soil enviroments: Tecnología Bioresource , octubre 2013. [Fecha de consulta: 3 de Junio del 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/232964679\\_Biodegradation\\_of\\_Chlorpyrifos\\_and\\_356-Trichloro-2-Pyridinol\\_by\\_Cupriavidus\\_sp\\_DT-1](https://www.researchgate.net/publication/232964679_Biodegradation_of_Chlorpyrifos_and_356-Trichloro-2-Pyridinol_by_Cupriavidus_sp_DT-1)

PHYTASE production by *Aspergillus niger* NCIM 563 for a novel application to degrade organophosphorus pesticides por Shah P. [et al] AMB Express 7:66 (2017) [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020] Disponible en: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-017-0370-9>

Polymeric microspheres as support to co-immobilized *Agaricus bisporus* and *Trametes versicolor* laccases and their application in diazinon degradation por Myleidi Vera. [et al] Arabian Journal of Chemistry julio 2019.[Fecha de consulta 15 Junio del 2020] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535219300784>



RAPID Biodegradation of the Organophosphorus Insecticide Chlorpyrifos by *Cupriavidus nantongensis* X1 por Liancheng Fang [et al]. India: International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 16, no. 23 pp. 4593, noviembre 2019. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31756950/>

RAPID biodegradation of organophosphorus pesticides by *Stenotrophomonas* sp. G1 por Shuyan Deng [et al] China: Journal of Hazardous Materials, abril 2015. [Fecha de consulta: 15 de Junio del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389415003507>

RESIDUOS de plaguicidas en suelos de uso agrícola y riesgo de exposición en la microcuenca Los Zarzales, municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela por Rojas Fernández [et al]. Revista Internacional de Contaminación Ambiental [en línea]. Febrero 2019. 35(2), 307-315. [Fecha de consulta: 19 de Mayo de 2020]. Disponible en <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article> DOI: 10.20937

ROMEY A. Y HENDAWI M. Bioremediation of Certain Organophosphorus Pesticides by Two Biofertilizers, *Paenibacillus*(*Bacillus*) *polymyxa* (Prazmowski) and *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck): Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 16, Agosto 2014. [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/4c0e/>

SAVITHA K. y SARASWATHI R. Insolation, Characterisation and Enhanced Amylase Activity of Chlorpyrifos degradind bacterial strain, *Bacillus stearothermophilus*: Nature Environment and PollutionTechnology, vol. 11 No. 1 pp.37-40, mayo 2012. [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2020]. Disponible en: [http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-37-6-\(6\)-B-1806.pdf](http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-37-6-(6)-B-1806.pdf)  
ISSN: 0972 6268

SAVITHA K. y SARASWATHI R. Isolation, identification, resistance profile and growth kinetics of chlorpyrifos resistant bacteria from agricultural soil of Bangalore: Research in biotechnology, 3(2): 08-13, 2012. [Fecha de Consulta: 8 de mayo del 2020]. Disponible en:

<https://www.updatepublishing.com/journal/index.php/rib/article/view/2393>

ISSN: 2229 791

SCREENING of Efficient Monocrotophos Degrading Bacterial Isolates from Paddy Field Soil of Sivagangai, District, Tamil Nadu, India por Buvanewari [et al]. India: Department of Microbiology. Journal of Environmental Science and Technology, 10(1):13-24, Diciembre 2017 [Fecha de consulta: 17 de abril de 2020]. Disponible en <https://scialert.net/abstract/?doi=jest.2017.13.24>

ISSN: 1994 7887

Spectrophotometric Analysis of Degradation of Chlorpyrifos Pesticide by Indigenous Microorganisms Isolated from Affected Soil por Baby Sharma [et al]. India: Institute of Biotechnology. Current Issues in Intestinal Microbiology, Vol. 5, no. 9 pp. 742-749, enero 2016. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2020]. Disponible <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.509.08>

ISSN: 2319-7706

THE remediation of chlorpyrifos-contaminated soil by immobilized White-rot fungi por XIN WANG [et al]. Journal of the Serbian Chemical Society, diciembre 2019. [Fecha de consulta: 15 de junio del 2020]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/337848314\\_The\\_remediation\\_of\\_chlorpyrifos-contaminated\\_soil\\_by\\_immobilized\\_white-rot\\_fungi](https://www.researchgate.net/publication/337848314_The_remediation_of_chlorpyrifos-contaminated_soil_by_immobilized_white-rot_fungi)

TOLERANCIA de hongos filamentosos a endosulfan, clorpirifos y clorotalonil en condiciones in vitro por Stamatiu K. [et al] Rev. Int. Contam. Ambie. 31(1) 23-37, 2015 [Fecha de consulta: 17 de mayo del 2020] Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992015000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992015000100002&script=sci_arttext)

YING-HUA Zhan, DI XU y XIN-HUAI ZHAO. Biodegradation of two organophosphorus pesticides in whole corn silage as affected by the cultured lactobacillus plantarum: 3 Biotech, Febrero 2016. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-016-0364-3>

# **ANEXOS**