



*Revisión bibliográfica del beneficio, composición y clasificación de los biofertilizantes, en comparación con el impacto negativo de los fertilizantes químicos usados en procesos agrícolas colombianos*

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca  
Facultad de Ciencias de la Salud  
Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico  
Trabajo de grado  
Bogotá, octubre 2023



*Revisión bibliográfica del beneficio, composición y clasificación de los biofertilizantes, en comparación con el impacto negativo de los fertilizantes químicos usados en procesos agrícolas colombianos*

Fabiana Andrea López Rodríguez

Asesor (a)

Ramiro Alfonso Rada Perdigón

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca  
Facultad de Ciencias de la Salud  
Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico  
Trabajo de grado  
Bogotá, octubre 2023



*Revisión bibliográfica del beneficio, composición y clasificación de los biofertilizantes, en comparación con el impacto negativo de los fertilizantes químicos usados en procesos agrícolas colombianos*

APROBADA \_\_\_\_\_

JURADOS

Lady Maricel Casallas Rodriguez

Heidy Carolina Martinez Diaz

ASESORES

Ramiro Alfonso Rada Perdigón

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca  
Facultad de Ciencias de la Salud  
Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico  
Trabajo de grado  
Bogotá, octubre 2023

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a las personas que han sido parte de mi inspiración y apoyo a lo largo de mi vida, que han sido mi ejemplo a seguir y mi motivación cada que inicio una nueva etapa en mi vida.

Me enorgullece dedicarle este trabajo a mi mamá ya que gracias a la dedicación y amor que siempre ha tenido para apoyarnos a mis hermanos y a mí, hemos podido lograr las metas que nos hemos propuesto, por su fuerza y valentía, por los valores que puso en mí, por enseñarme a creer en mí y a nunca rendirme. A mi padrino por siempre motivarme a estudiar, por no dejarme sola, por demostrarme su amor de un millón de maneras diferentes, por ayudarme a cumplir el sueño de ser profesional, por ser mi segundo papá.

A mis hermanos por abrirme los caminos por donde debo ir, por enseñarme las cosas bonitas de la vida, a mi hermana por ser incondicional, por enseñarme la disciplina y el amor, a mi hermano por sus enseñanzas y su complicidad, a ellos por sus consejos, su cariño y apoyo constante.

A mi abuela, que siempre ha tenido palabras de amor, aliento y motivación, que siempre me ha enseñado a seguir adelante y a superar todos los obstáculos de la vida, por ser siempre mi lugar seguro.

A mi papá, tía y abuelo, que desde el cielo me han protegido y guiado, gracias a ellos porque en vida me dejaron las enseñanzas más importantes y especiales y siempre serán las personas a las que les dedicaré cada uno de mis logros.

Finalmente a mis profesores asesores de proyecto, que desde los primeros semestres con su sabiduría y dedicación me han ayudado a lograr grandes cosas en mi carrera, por guiarme, orientarme y siempre tenerme presente para proyectos académicos donde confían en mis habilidades y conocimientos para convertir las ideas en escritos reales.

## AGRADECIMIENTOS

Esta monografía es el resultado de un proceso extenso, que ha pasado por todo tipo de situaciones, un camino lleno de aprendizaje y conocimiento, definitivamente un proyecto que no habría sido posible sin la colaboración, apoyo y motivación de muchas personas.

Iniciando, quiero agradecer a mi asesor de tesis, el profesor que creyó en mí desde segundo semestre, que siempre ha sido un apoyo incondicional en mi carrera, quien siempre ha estado dispuesto a resolver mis dudas y siempre ha estado para sacar una sonrisa, gracias por su guía, por su paciencia, sus consejos y su sabiduría. Continúo extendiendo mis agradecimientos a las profesoras jurados y al profesor mediador por su apoyo, correcciones y comentarios que apuntan a enriquecer la monografía.

Agradezco a la profesora Diana que ha estado apoyando mis proyectos escritos, por su dedicación y paciencia, por darme las herramientas para crear investigación, por hacerme parte del semillero de investigación y por siempre tenerme en cuenta en cada convocatoria para postularme, por los encuentros de semilleros en los que ha creído en mí y hemos sacado adelante.

Quiero agradecer a mis compañeros de prácticas clínicas, de los cuales he aprendido y con quienes me he reído, compañeros que al pasar el tiempo se convirtieron en amigos y personas importantes en mi vida, personas que han visto el proceso de creación de esta monografía y que han estado para apoyarme y ayudarme cuando ha sido necesario, por explicarme temas que no entendía en su momento, gracias a ustedes por hacer parte de este proceso y convertirlo en una experiencia enriquecedora.

Finalmente agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, por el amor que a diario me demuestran, por creer en mí y por nunca dejarme caer.

Este proyecto es el resultado de cinco años de estudio, donde ustedes han sido mi apoyo y compañía, esto es un homenaje a todos ustedes por ayudarme a alcanzar esta meta.

## Tabla de contenido

Índice de figuras.....	7
Resumen.....	8
Introducción.....	9
Problema de investigación.....	10
Justificación.....	12
Objetivos.....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos específicos.....	13
Marco Teórico.....	14
1. Revisión de antecedentes.....	14
2. Marco referencial.....	17
2.1 Implementación de fertilizantes y biofertilizantes en la industria agrícola colombiana.....	17
2.2 Impacto medioambiental producido por los fertilizantes de origen sintético.....	19
2.3 Tipos de biofertilizantes y su método de acción.....	21
2.3.1 Biofertilizantes con microorganismos fijadores de nitrógeno.....	21
2.3.2. Biofertilizantes con microorganismos solubilizadores de fósforo.....	24
2.3.3. Biofertilizantes con microorganismos captadores de fósforo.....	27
2.3.4. Biofertilizantes con microorganismos promotores del crecimiento vegetal.....	29
3. Marco conceptual.....	31
4. Diseño metodológico.....	34
4.1. Universo, población, muestra.....	34
4.1.1. Universo.....	34
4.1.2. Población.....	34
4.1.3. Muestra.....	34
4.2. Hipótesis y variables.....	34
4.2.1. Hipótesis.....	34
4.2.2. Variables.....	35
4.3. Técnicas y procedimientos.....	35
4.4. Tipo de investigación.....	35
4.4.1. Enfoque.....	35
4.5 Tipo de estudio.....	36
5. Resultados.....	38
6. Discusión.....	39

7. Conclusiones.....	40
8. Referencias bibliográficas.....	42

### **Índice de figuras**

1. Figura 1. Características de los biofertilizantes .....	15
2. Figura 2. Consumo de fertilizantes fosfatados nitrogenados y potásicos en América Lartina para el año 2017. ....	18

# **Revisión bibliográfica del beneficio, composición y clasificación de los biofertilizantes, en comparación con el impacto negativo de los fertilizantes químicos usados en procesos agrícolas colombianos**

## **Resumen**

Los fertilizantes son sustancias utilizadas en la industria agrícola con el fin de mejorar el rendimiento de los cultivos, los productos más usados para suplir esta necesidad son de origen químico y se ha demostrado que los residuos de estas sustancias generan afectaciones tanto en el medio ambiente como en la salud humana. En diferentes estudios se ha comprobado que los residuos de fertilizantes químicos han contaminado el agua, aire y suelo, al mismo tiempo, contribuyen a las afectaciones por el cambio climático, ya que tienen la capacidad de liberar gases de efecto invernadero.

En esta monografía, se plantean los biofertilizantes como alternativa sostenible, ya que están compuestos de microorganismos vivos que ayudan a las plantas a absorber nutrientes del suelo. Estos pueden ser clasificados de formas diferentes, una de ellas es según su función, de acuerdo a esta categorización encontramos:

- Estimuladores del crecimiento de las plantas, fitoestimulantes
- Aquellos que aumentan la disponibilidad de nutrientes en las plantas
- Restablecedores de la estructura del suelo
- Protectores de plantas contra enfermedades
- Erradicadores de contaminantes en el suelo

En conclusión, esta alternativa plantea el reemplazo de productos químicos y abre las puertas a estudios comparativos experimentales con el fin de exponer estadísticamente los múltiples beneficios que genera dicho cambio. Se propone que dicho reemplazo ofrezca ventajas a la industria agrícola y a su vez genere una mejora en el medio ambiente.

## Introducción

Los fertilizantes son productos químicos cuya principal función es aportar nutrientes para las plantas con el fin de favorecer su crecimiento, es así que son considerados una sal inerte sin carga, sin embargo, al mezclarse con el agua, independientemente sea del suelo o de una solución como tal, se disgrega liberando aniones o cationes, es decir, nutrientes con carga iónica <sup>1</sup>. Estos tipos de fertilizantes, son los más usados en la industria de la agricultura colombiana pese a que genera una serie de desventajas y complicaciones para la salud humana y para el medio ambiente <sup>1</sup>.

En diferentes investigaciones y estudios se ha encontrado que los agricultores y la población que vive cerca a estos lugares de producción de cultivos alimentarios, se han encontrado expuestos a sustancias químicas utilizadas para favorecer el crecimiento de las plantas, o para eliminar plagas, uno de los casos más frecuentes es la afectación por la exposición a clorpirifos (insecticida organofosforado) que afecta la coordinación motora visual, conducta y habilidades para diferenciar la gamas de colores, entre otras complicaciones <sup>2</sup>.

Teniendo esto en cuenta, se establece la necesidad de una búsqueda intencionada con el fin de encontrar sustancias que reemplacen estos productos químicos para disminuir las consecuencias que generan a corto, mediano y largo plazo en la salud humana y en el medio ambiente, considerando a los biofertilizantes como alternativa de uso, ya que esta mezcla es definida como un compuesto de microorganismos que se involucran en diferentes actividades del suelo, cuya función es colonizar la rizosfera o el interior de las plantas para generar mayor rendimiento en los cultivos <sup>3</sup>. Es importante tener en cuenta, que los biofertilizantes se diferencian por su principio activo o por el metabolismo del microorganismo que lo componen <sup>3</sup>.

## **Problema de investigación**

En la agricultura se requiere el uso de fertilizantes para obtener una mayor producción agrícola <sup>4</sup>. En la industria existen diferentes tipos y se pueden encontrar de origen biológico y químico, los biológicos son aquellos productos que contienen microorganismos vivos como compuesto activo y reciben el nombre de biofertilizantes, estos microorganismos pueden ser bacterias y hongos, cuya función principal es contribuir al buen crecimiento de las plantas, ya que los fertilizantes aumentan la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Es de conocimiento que en la agricultura se necesitan diversos productos que ayuden al enriquecimiento de las plantas para generar una mejor producción agrícola, por ende se utilizan fertilizantes con dicho propósito de mejorar las condiciones de los suelos y simultáneamente de los cultivos, sin embargo, al usar los fertilizantes de origen sintético o químico se presentan afectaciones para el medio ambiente, ejemplo de ello es la contaminación de aguas superficiales o subterráneas, ya que dichos compuestos pueden llegar a convertirse en sustancias tóxicas para los mismos cultivos <sup>2</sup>.

Frente a la afectación presentada por los fertilizantes de origen sintético, se empezó a evaluar la posibilidad de sustituir su uso por productos de origen natural, es decir, retomar una versión mejorada del compost y del abono, lo cual se ve como la opción más viable y sustentable para la agricultura en la actualidad <sup>3</sup>.

A la fecha, se ha evidenciado que los biofertilizantes contribuyen al mejoramiento de los procesos agrícolas debido a que son considerados una alternativa viable para disminuir o prevenir la contaminación causada por otras sustancias, ejemplo de ello son aquellos producidos a partir de bacterias diazotróficas, que ayudan a fijar el nitrógeno dejándolo en su forma biodisponible para el uso de las plantas, permitiendo un adecuado desarrollo y generando un sano crecimiento de productos de cultivo agrícola <sup>5</sup>.

Los fertilizantes químicos son ampliamente utilizados en la agricultura colombiana, pero su uso excesivo puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. Por ello, es necesario investigar el impacto ambiental de los fertilizantes en Colombia y cómo la implementación de biofertilizantes puede contribuir a mejorar la producción agrícola y la conservación del medio

ambiente, a su vez determinar el principio activo o la metabólica del microorganismo usado en este tipo de productos, para determinar cuáles son los más eficaces y útiles en el desarrollo de estos.

## Justificación

El uso de los fertilizantes comunes ha permitido el aumento en la producción agrícola <sup>6</sup>, lo cual se refleja de manera positiva incluso para la economía; sin embargo, no se puede dejar de lado las consecuencias ambientales que conlleva el uso de estos productos de origen sintético, como eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad, adicional a esto es de importancia tener en cuenta que las plantas absorben de 30 a 50 % de los fertilizantes químicos, el resto van quedando en el suelo <sup>7</sup>.

Asimismo, uno de los procesos de contaminación por fertilizantes comunes es el asociado al recurso hídrico, ya que los impactos se ven reflejados a través de las variaciones de pH del suelo y el deterioro en estructura de la microfauna; por otro lado, la contaminación presente en el aire, tal como emisiones de amoníaco que al ser liberadas producen partículas finas y aerosoles atmosféricos, generadas gracias al uso de fertilizantes nitrogenados <sup>8</sup>.

Si bien los fertilizantes sintéticos han generado la aceleración de muchos procesos agrícolas, dando buenos resultados y disminuyendo el tiempo de producción, también han ocasionado numerosos problemas ambientales. De igual manera, en relación con el costo de elaboración, se ha evidenciado que no es tan favorable económicamente como lo hacen los fertilizantes de origen natural, ya que requieren más procesos de producción, que conllevan al aumento de la contaminación y desechos tóxicos acumulados <sup>9</sup>.

Es así que la práctica milenaria de la biofertilización, ha demostrado resultados positivos en el rendimiento en comparación a los fertilizantes sintéticos, por lo cual se pretende sustituir de manera radical el uso de químicos tóxicos para el medio ambiente, por el uso principal de productos de origen natural cuyo impacto medioambiental disminuye sustancialmente, mitigando los procesos de contaminación <sup>9</sup>.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Identificar la composición, clasificación y el beneficio del uso de los biofertilizantes, en comparación con el impacto de los fertilizantes químicos usados en procesos agrícolas colombianos, a través de una búsqueda intencionada de la información en artículos, proyectos, revistas y demás publicaciones.

### **Objetivos específicos**

- Describir los tipos de biofertilizantes, sus compuestos activos y características metabólicas.
- Comparar el efecto del uso de los biofertilizantes y los fertilizantes químicos o sintéticos, utilizados en el desarrollo de las actividades agrícolas en Colombia.
- Determinar los beneficios a nivel ambiental, que genera la sustitución de los fertilizantes comunes por la utilización de biofertilizantes en la agricultura.

## Marco Teórico

### 1. Revisión de antecedentes

Los biofertilizantes son preparaciones que contienen células vivas o latentes y provienen de cepas eficientes de microorganismos, cuya función es acelerar los procesos microbianos en el suelo dando como resultado una mejora en la asimilación de nutrientes para las plantas, así mismo se sabe que la importancia del uso de este tipo de fertilizantes radica en que estos suplen y complementan minerales <sup>10</sup>.

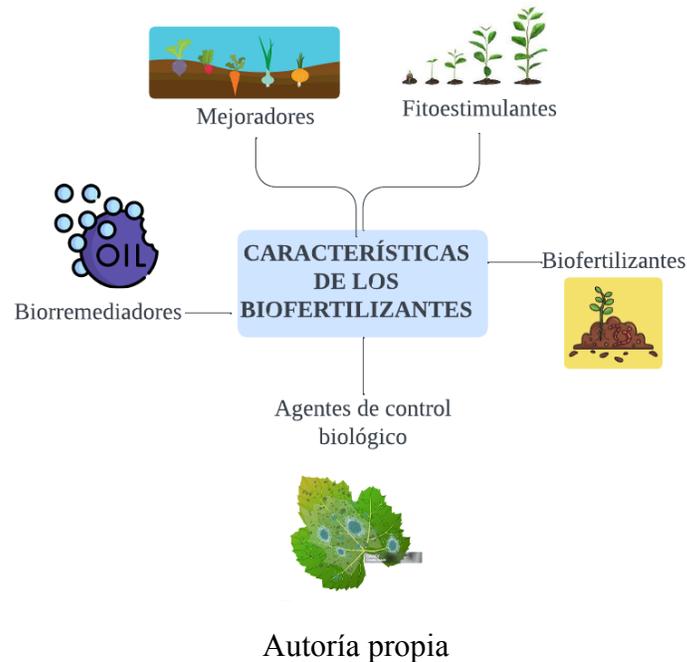
Desde los inicios de la agricultura, se buscó la manera de contribuir al desarrollo de nutrientes en el suelo con el fin tener los cultivos sanos y poder realizar una cosecha más rápida y sin complicaciones, se evidenció como el uso de estiércol nutría y de alguna manera ayudaba a la absorción de minerales al suelo <sup>11</sup>.

Ahora bien, algunos nutrientes químicos en el suelo son estables (fósforo) mientras que otros se pierden o se consumen muy fácilmente (nitrógeno). Un agricultor necesita hacer una aplicación básica y suficiente de nutrientes para empezar su huerto y luego mantener una aplicación regular de los mismos mientras el cultivo crece. Un suelo pobre, puede llegar a ser productivo si está bien manejado <sup>12</sup>.

Es así, que los fertilizantes suplen la necesidad de nutrientes que requiere el suelo, con el fin de mejorar la producción de productos agrícolas, en algunos casos se complementa con el uso de abono, adicional al fertilizante de elección, donde se utiliza en conjunto el compost en el suelo aproximadamente cada 8 ó 15 días, haciendo una aplicación más general o sectorizada, esto ya va a depender de la necesidad de cada terreno; sin embargo, la aplicación del compost no puede sustituir el fertilizante industrial, se debe aplicar de manera conjunta <sup>13</sup>. Posteriormente, se empezó a analizar la función de los microorganismos en este ámbito, por ende se decide implementar el uso de hongos o bacterias en la agricultura, con el fin de aprovechar al máximo los beneficios que puedan generar sobre la biosfera, actuando de manera enriquecedora para el suelo y a su vez ofreciendo un mejor crecimiento de las plantas <sup>13</sup>.

En el impacto de los biofertilizantes en la agricultura, escrito por Grageda et al. <sup>14</sup>, se enumeran las características benéficas que genera el uso de microorganismos en la agricultura <sup>14</sup>.

**Figura 1.** Características de los biofertilizantes



- a) Fitoestimulantes: estimulan la germinación de las semillas y el enraizamiento por la producción de reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias <sup>14</sup>.
- b) Biofertilizantes: incrementan el suministro de los nutrientes por su acción sobre los ciclos biogeoquímicos, tales como la fijación de N<sub>2</sub>, la solubilización de elementos minerales o la mineralización de compuestos orgánicos <sup>14</sup>.
- c) Mejoradores: mejoran la estructura del suelo por su contribución a la formación de agregados estables <sup>14</sup>.
- d) Agentes de control biológico de patógenos: desarrollan fenómenos de antagonismo microbio-microbio <sup>14</sup>.
- e) Biorremediadores: eliminan productos xenobióticos tales como pesticidas, herbicidas y fungicidas <sup>14</sup>.

Se observa así, que en la agricultura los microorganismos son de gran ayuda para diferentes prácticas, se han utilizado con frecuencia en las empresas productoras de abono orgánico <sup>15</sup>,

intentando realizar de la manera más natural posible con el fin de dejar de lado la fertilización sintética, asimismo hay productos fertilizantes creados de manera mixta <sup>16</sup>, es decir, con componentes orgánicos complementados con componentes químicos o sintéticos. Por otro lado, también se conoce como biofertilizante mixto, aquel que se compone por dos o más microorganismos <sup>15,16</sup>.

Por otro lado, los múltiples beneficios que aportan los microorganismos a la agricultura no se resumen en la palabra biofertilizante, dado que no todos cumplen dicha función, algunos únicamente promueven el crecimiento, otros aumentan la absorción o disponibilidad de nutrientes, otros se encargan del control biológico, por esta razón es de vital importancia tener clara la clasificación de estos ayudadores <sup>17</sup>.

Microorganismos como *Burkholderia cepacia* y *Bacillus subtilis*, actúan como fertilizantes y controladores, de igual manera se usan diferentes tipos de hongos benéficos con función saprofítica o simbiótica, siendo usualmente conocida en este campo la utilización de rizobacterias ya que colonizan suelos y ejercen importantes beneficios sobre las raíces. Algunos tipos de micorrizas son usados como biofertilizantes, principalmente las ectomicorrizas y las endomicorrizas, las primeras invaden la raíz sin penetrar las células y las endomicorrizas, actúan en el interior de las células de la raíz ingresando con ayuda del micelio <sup>18</sup>.

En el artículo publicado en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, por Chavez I, et. al. <sup>16</sup>, se exponen casos de éxito del uso de estos fertilizantes en su país, se ve reflejado el estudio donde se expone el logro de un incremento del 70 % en el peso de la biomasa aérea en el maíz, y 95 % de biomasa en las mazorcas con el uso de *Azospirillum brasilense* en comparación de un fertilizante sintético <sup>16</sup>.

Tomando como base la referencia anteriormente mencionada <sup>16</sup>, es posible concluir que el uso correcto de los biofertilizantes y la buena producción de estos ayudará a alcanzar de manera más eficiente la agricultura sostenible y asimismo la seguridad alimentaria, todo esto abarca la selección de las cepas correctas, el buen tratamiento de las mismas, desarrollo de políticas y

reglamentos que contribuyan al manejo adecuado de estas prácticas evitando contaminación o reacciones adversas <sup>16</sup>.

## **2. Marco referencial**

### **2.1 Implementación de fertilizantes y biofertilizantes en la industria agrícola colombiana**

La agricultura es la columna vertebral de la economía de muchas naciones desde tiempos ancestrales<sup>19</sup>, debido a que es interpretada como la producción, comercialización y abastecimiento de alimentos. Comprendiendo el término agricultura como la domesticación de plantas y animales, esta es una labor que tiene sus raíces desde hace más de 12.000 años, aproximadamente para la era neolítica, donde se encuentra como suplir la necesidad allí detectada, para generar un sostén en la supervivencia humana <sup>20</sup>.

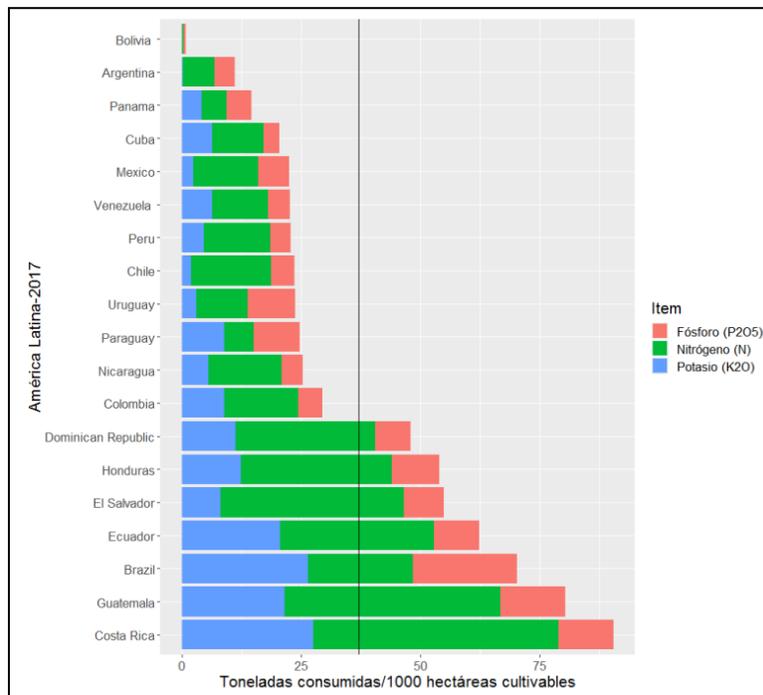
Actualmente, es necesaria la presencia de entidades reguladoras y colaboradoras para el desarrollo de mejores resultados, control y legislaciones. Satisfaciendo esta necesidad, para el año 1945 se funda la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, entretanto se daba paso a la segunda guerra mundial y al tiempo la escasez de alimentos, desarrollando un incremento en el hambre global. Esta organización nace gracias a un acuerdo entre 44 naciones con el objetivo de luchar contra el hambre, actualmente cuenta con el apoyo de 194 países y la Unión Europea <sup>21</sup>.

Con base a lo anterior, se evidencia que con ayuda de la FAO el sector agrícola tuvo una organización más adecuada y productiva, entre tanto se hizo evidente la necesidad de implementar medidas con el fin de generar cultivos más sanos, seguros y controlados, es cuando se recibe la ayuda de los agroquímicos. Sin embargo, algunos de estos compuestos químicos empezaron a generar problemas a nivel medioambiental, se hacen notorios ciertos rasgos tóxicos, es en este momento donde el sector de la agroindustria decide eliminar las líneas de productos que causaban reacciones adversas, entre ellas: efectos fitotóxicos en el cultivo destinado, considerablemente peligroso para la salud humana y del medio ambiente, en otros casos se degradó el principio activo y el resultado era totalmente opuesto al que se esperaba <sup>22</sup>.

El sector agrícola colombiano ha atravesado por una evolución paulatina en las últimas décadas y una parte de ello se debe a la implementación de ayudadores en el sector agrícola, se dice que se atribuye parte de esta contribución a los fertilizantes ya que ha generado un aumento en la productividad agrícola. La principal importancia de tener una buena producción se basa en que esta garantiza la seguridad alimentaria, es decir, es un aval de que haya sustento para la población mundial teniendo en cuenta su constante crecimiento. Otro punto importante es la contribución al desarrollo económico del país y con este a la reducción de la pobreza <sup>23</sup>.

Según el estudio sobre el mercado de fertilizantes inorgánicos en Colombia (2009-2018)<sup>24</sup>, el consumo de fertilizantes ha ido en aumento a causa del incremento poblacional, ligeros cambios alimenticios y uso de alimentos para la producción de energías. Sin embargo, en el mismo documento se muestra el siguiente gráfico que pone a Colombia por debajo del promedio de América latina en consumo de fertilizantes básicos por área cultivable para el año 2017 <sup>24</sup>.

**Figura 2.** Consumo de fertilizantes fosfatados, nitrogenados y potásicos en América Latina 2017



Rodríguez D, Lugo C y Bejarano F. Estudio sobre el mercado de fertilizantes inorgánicos en Colombia (2009 - 2018).[internet]. Superintendencia de industria y comercio. 2018.

## 2.2 Impacto medioambiental producido por los fertilizantes de origen sintético

En relación a lo expuesto a lo largo del escrito, es posible concluir que la aparición de los fertilizantes llegó a suplir una necesidad, sin embargo, se han usado de manera deliberada y sin control que junto con el crecimiento poblacional aumenta la demanda de diferentes productos, tales como alimentos, textiles, entre otros. Las industrias con el fin de optimizar y controlar sus producciones implementan e intensifican el uso de fertilizantes ya sean de origen orgánico o inorgánico en grandes cantidades <sup>25</sup>.

Después de tantos años de uso de productos ayudadores, el suelo se ha vuelto más específico para generar una producción puntualmente de tamaño industrial, gracias a esto se ha disminuido la pérdida de cosechas, los nutrientes del suelo se encuentran más disponibles para su síntesis, se ha mejorado un mayor rendimiento del ganado, así mismo las empresas productoras de fertilizantes y plaguicidas han ido creciendo al mismo ritmo de la necesidad que suplen <sup>25</sup>.

No obstante, es imposible tener en cuenta únicamente los resultados positivos; según el informe: *Impacto medioambiental producido por los fertilizantes de origen sintético*, publicado por la ONU en el año 2020 en su programa para el medio ambiente <sup>26</sup>, la preocupación pública por las consecuencias del uso de agroquímicos ha crecido de manera exponencial y simultáneamente, han llegado las leyes y normativas sobre el uso de dichos productos y la aplicabilidad ha sido principalmente para los países más productores en la industria agrícola y ganadera. Como se evidenció en la gráfica anterior <sup>24</sup>, hay países de América latina que utilizan grandes cantidades de productos que generan desechos altamente tóxicos y son quienes deben acoger estas leyes de protección a la naturaleza con más prontitud <sup>24</sup>.

Aparte de los fertilizantes sintéticos, en la agricultura se usan diferentes productos de origen químico, un ejemplo de ello son los plaguicidas, sustancias que generan residuos de difícil biodegradación, ha sido posible detectar este tipo de desechos en aguas superficiales y subterráneas, incluso ese fenómeno se ha expandido tanto que se han hallado restos en el ártico <sup>26</sup>.

Principalmente, los insecticidas han afectado los ciclos ecosistémicos importantes y a su vez a los seres vivos, los insectos han generado métodos de resistencia con el fin de protegerse, se ha observado que los plaguicidas usados comúnmente han dejado de ser igual de eficaces que cuando se empezaron a implementar, a raíz de esto se crean productos que abarquen un espectro más amplio pero es inevitable que también sean más tóxicos para todos los ambientes desencadenando una amplia cantidad de efectos adversos <sup>26</sup>.

En la misma publicación; *Impacto medioambiental producido por los fertilizantes de origen sintético* <sup>26</sup>, se exponen los principales daños ocasionados en el medio ambiente los cuales son:

- Eutrofización de los ecosistemas de agua dulce y zonas costeras ocasionadas por el exceso de fósforo y nitrógeno y por ende el aumento de residuos en aguas superficiales <sup>26</sup>.
- Aumento en la emisión de gases de efecto invernadero durante la producción y distribución de los plaguicidas <sup>26</sup>.
- Efectos directos en la salud humana por inhalación constante del amoníaco y polvos del estiércol <sup>26</sup>.
- La ingesta de residuos diseminados por el suelo y las aguas que finalmente llegan a los alimentos de origen vegetal o lavados y regados con aguas contaminadas <sup>26</sup>.
- Superación del límite planetario por los flujos de nitrógeno y fósforo que viajan hasta la atmósfera y los océanos <sup>26</sup>.

El número de secuelas derivadas de los fertilizantes químicos va en aumento cada día, principalmente por aquellas complicaciones que se ven reflejadas a largo plazo, pues apenas están apareciendo las consecuencias que dieron origen hace un poco más de diez años <sup>27</sup>. Se tiene en cuenta que no se generan únicamente consecuencias en la salud de cada individuo por aparte sino también es posible ver brotes en grandes poblaciones al afectar algún recurso natural utilizado a diario, como el agua <sup>26</sup>.

Se ha normalizado tanto el uso de plaguicidas y fertilizantes sintéticos tóxicos, que al ver la gravedad de las afecciones generadas por estos productos se tuvo la necesidad de hacer un manual de manejo clínico para tratar la intoxicación ocasionada por este tipo de productos, la

organización panamericana de la salud junto con la organización mundial de la salud son los autores de esta guía de manejo <sup>27</sup>.

## **2.3 Tipos de biofertilizantes y su método de acción**

Los biofertilizantes llegan a suplir la necesidad de enriquecer los cultivos y ayudarlos a dar mejores resultados y al tiempo, son creados con el objetivo de intentar disminuir las consecuencias negativas que han dejado los fertilizantes químicos en el medio ambiente. Es así como surgen los biofertilizantes, estos pueden ser clasificados en categorías con base a sus funciones puntuales sobre la agricultura, en esta revisión bibliográfica se toma una amplia tipificación que tiene como referencia los principales ciclos ambientales para la disposición de los nutrientes en el suelo en pro de las plantas. Los ciclos biogeoquímicos tomados en cuenta son el ciclo del nitrógeno y el ciclo del fósforo ya que son los dos nutrientes principales para el desarrollo de cultivos y productividad de los ecosistemas <sup>28</sup>.

A continuación, es posible encontrar la clasificación de los biofertilizantes de acuerdo a la función que cumple el tipo de microorganismo que actúa como principio activo en cada uno, esta será la columna vertebral para la siguiente parte de esta revisión bibliográfica <sup>14</sup>.

- Microorganismos fijadores de nitrógeno <sup>28</sup>.
- Microorganismos solubilizadores de fósforo <sup>33</sup>.
- Microorganismos captadores de fósforo <sup>42</sup>.
- Microorganismos promotores del crecimiento vegetal <sup>48</sup>.

### **2.3.1 Biofertilizantes con microorganismos fijadores de nitrógeno**

Se implementan fertilizantes a base de microorganismos fijadores de nitrógeno, y para esto es indispensable en primer lugar conocer la importancia del nitrógeno en el suelo y el medio ambiente. Para iniciar es importante aclarar que el elemento más abundante en plantas es el

nitrógeno, como es mencionado en una publicación de agronet del año 2019 <sup>28</sup>, allí el nitrógeno hace parte de la clorofila y es uno de los responsables de darle el color verde a las hojas, aporta en el crecimiento y fortalecimiento de las mismas, entre otras funciones, existen varias formas del nitrógeno, pero no todas son formas disponibles para las plantas o para la agricultura como tal, es decir, en el ambiente encontramos una gran cantidad del nitrógeno pero no es hasta realizar todo el ciclo de este elemento y hacer la fijación del mismo que llega a convertirse en nitratos o amonio para que las plantas lo puedan utilizar <sup>28</sup>.

Para entender cómo funciona este ciclo, se toma como referencia un escrito realizado para la revista colombiana biotecnológica, titulado como; *la dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos* <sup>29</sup>. En dicho artículo se explica el ingreso del nitrógeno a la biosfera como resultado de procesos dados por microorganismos presentes en el suelo, pues este elemento entra por la fijación química y biología del nitrógeno no molecular que se conoce como N<sub>2</sub> y es removido por el proceso conocido como desnitrificación. Hablando como tal de la fijación del nitrógeno existen bacterias con la capacidad de realizar estos procesos y para ello es indispensable que estos microorganismos poseen enzimas como nitrogenasas que son aquellas que pueden romper el triple enlace del nitrógeno molecular y producir amonio <sup>29</sup>.

A manera de resumen de la anterior información se tiene que el amonio es la forma en la que se encuentra disponible el nitrógeno para el suelo y la utilización en las plantas, por ende para la utilización de la primer categoría de biofertilizantes, cuyo principio activo son los microorganismos fijadores de nitrógeno, es necesario utilizar las bacterias con nitrogenasas y para identificarlas se utiliza el gen nifH <sup>30</sup> como biomarcador, este gen es el encargado de codificar la subunidad hierro-proteína que está en la nitrogenasa. En un estudio realizado en el instituto amazónico de investigación científica, titulado como: *Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana* del año 2009 <sup>31</sup> se realiza un muestreo de diferentes tipos de suelos y aíslan en primer lugar microorganismos en sitios libres de nitrógeno para identificarlos y seguido a ello se analizan las bacterias que son potencialmente fijadoras de nitrógeno, donde se concluye que en suelos de tipo pastizal se aísla mayor cantidad de este tipo de microorganismos, seguido por los bosques y finalmente chagra. De acuerdo con la

morfología de los microorganismos y sus características, contrastan dichos resultados con un estudio previo donde concuerdan que la población bacteriana capaz de fijar nitrógeno más abundante en los suelos son las bacterias del género *Azospirillum* y *Azotobacter* <sup>31</sup>.

Regresando a la referencia del artículo; *la dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos* <sup>29</sup>, encontramos la enumeración de las diferentes bacterias que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno conocidas como bacterias diazotrofas y dentro de ellas están las bacterias simbióticas, de vida libre y no simbióticas. Para las bacterias simbióticas existe una subdivisión donde entran las obligadas y las asociativas o endófitas, así que por el lado de las obligadas están los géneros; *Rhizobium* y *Frankia* y por parte de las asociativas están, *Cyanobacteria*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Acetobacter diazotrophicus*, *Azoarcus*. Por parte de las no simbióticas se encuentran; *Acetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Baijerinckia*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas* y *Xanthobacter* <sup>29</sup>.

Lo anterior, no indica que estas sean las únicas bacterias implicadas en el ciclo del nitrógeno, pero si son de las únicas que se habla en esta revisión, pues son las que entran dentro de la categoría de microorganismos capaces de fijar el nitrógeno. En este ciclo biogeoquímico existen muchos más procesos, por ejemplo, la oxidación del amonio a nitrito y la oxidación de nitrito a nitrato, en este proceso también se involucran algunas bacterias y estas son las bacterias oxidantes de nitrito o BON, dentro de ellas también se encuentran múltiples géneros y así será para cada parte de este ciclo <sup>29</sup>.

Para finalizar esta primera categoría, se determina que las bacterias diazotrofas son un principio activo de un potencial biofertilizante que ayuda a disminuir el uso del nitrógeno químico en cultivos y permitir un desarrollo y enriquecimiento natural con ayuda del metabolismo de estos microorganismos. Un ejemplo claro de esto se encuentra en un estudio realizado por Argüello A, et al. en 2014 <sup>32</sup>, donde realizan un aislamiento de los microorganismos con capacidad de fijar el nitrógeno en los suelos cacaoteros, se toman los microorganismos cuya cualidad diazotrófica es más representativa y se exponen durante 120 días a un bioensayo en el que se sumergen las semillas por 4 horas en el inóculo preparado con los microorganismos de interés y como control

negativo se utilizó en lugar de inóculo, únicamente agua destilada estéril para poder realizar la respectiva comparación. En dicho escrito se concluye de manera presuntiva que los géneros con mayor capacidad diazotrófica son; *Burkholderia spp* y *Gluconacetobacter spp*, debido a que las plantas expuestas al inóculo perteneciente a esos géneros de bacterias dieron mejores resultados en comparación a la planta de control negativo <sup>32</sup>.

Lo anterior indica y abre la posibilidad a ensayos prácticos con más microorganismos diazotrofos con el fin de ampliar la producción de biofertilizantes cuyo objetivo principal sea mejorar la fijación del nitrógeno <sup>32</sup>.

### **2.3.2. Biofertilizantes con microorganismos solubilizadores de fósforo**

Igual que en la anterior categoría, para empezar a conocer esta categoría, es necesario conocer cómo funciona el ciclo biogeoquímico que se trata en este punto, en este caso es el ciclo del fósforo. El fósforo es un elemento necesario no únicamente para el suelo y la agricultura sino en general para la vida <sup>33</sup>, en este elemento se resalta que la forma química disponible es el ortofosfato, el suelo lo consume y lo degrada rápidamente, por ende la biota busca la manera de obtener el fósforo en otras formas químicas. El fósforo se encuentra de forma orgánica e inorgánica, pero se transforma continuamente <sup>34</sup>, esto no quiere decir que todas las formas del fósforo existentes en el suelo sean aprovechables por las adaptaciones forzadas que han tenido que hacer las plantas para usar algo más que el ortofosfato, una alternativa de ayudar al aprovechamiento de dicho elemento es precisamente el uso de biofertilizantes fosfatados, esto principalmente en suelos rojos y los derivados de cenizas volcánicas <sup>35</sup>.

Según la explicación de Cerón L, et al. 2012 <sup>29</sup>, el fósforo proviene de las apatitas y depósitos de fosfato natural y allí se libera gracias a los procesos de meteorización, lixiviación, erosión y extracción industrial. La principal importancia del fósforo en suelos radica en la contribución a la formación de las semillas de las plantas, ayuda también en el desarrollo radicular y aporta fuerza y maduración en algunos cultivos <sup>29</sup>.

El ciclo del fósforo a diferencia de algunos otros se caracteriza porque en toda su conversión jamás pasa a una fase gaseosa <sup>36</sup>, este ciclo es un poco más lento en comparación a los demás ciclos biogeoquímicos, es importante tener en cuenta que la forma más abundante del fósforo que se encuentra en la naturaleza es en iones de fosfato, por lo general están en las rocas y el fósforo se filtra en la biosfera e hidrosfera cuando estas se meteorizan <sup>37</sup>. Las plantas absorben los compuestos derivados del fósforo disponibles en el suelo, quedan en ellas y los animales que se alimentan de este tipo de plantas los excretan en desechos o cuando mueren y los compuestos fosfatados generados por ellos son absorbidos por organismos detritívoros o pueden sencillamente regresar al suelo <sup>37</sup>.

Otra vía que toman los compuestos fosfatados liberados es el agua, por medio de un transporte debido a los escurrimientos, llegando no únicamente a océanos sino previamente a ríos y lagos, en estos ecosistemas acuáticos los organismos pertenecientes a ellos absorben dichos compuestos fosfatados, a medida que los utilizan y generan más compuestos derivados del fósforo como desechos, se generan nuevas capas sedimentarias, capas que quedan adheridas a las rocas sedimentarias fosfatadas y los compuestos llegan a la tierra nuevamente gracias al levantamiento. En este punto se da lugar a la eutrofización, proceso que como indica García F y Rosales M, 2018 <sup>38</sup>, es un fenómeno que desde hace unos años ha tomado fuerza debido a la cantidad de afecciones que ha generado en los recursos hídricos, pues este proceso genera crecimiento excesivo de algas y deja abundantemente disponible el fósforo para algunas bacterias que tienen el acceso limitado a este elemento, generando mal olor en las aguas y originando compuestos tóxicos <sup>38</sup>.

Con el ciclo del fósforo ya expuesto, es posible entrar a diferenciar los principales procesos que intervienen en la concentración de fósforo en los suelos, de acuerdo con Pierzynski et al., 2005. <sup>39</sup>, estas son:

- Disolución / precipitación (equilibrio mineral) <sup>39</sup>.
- Adsorción / desorción (interacciones entre el P en solución y las superficies sólidas del suelo) <sup>39</sup>.
- Mineralización / inmovilización (conversiones entre formas orgánicas e inorgánicas del elemento en cuestión) <sup>39</sup>.

Partiendo de que la forma fosfatada disponible para las plantas en el suelo es el fósforo inorgánico, este se encuentra principalmente como iones de ortofosfato, tal cual lo indica Tapia Y et al.. 2021 <sup>16</sup>, estos iones provienen de la mineralización de materiales orgánicos. A juzgar por lo anterior, para poder realizar todo este proceso es necesaria la intervención por parte de los microorganismos tales como bacterias, hongos y protozoos. Básicamente la solubilización del fósforo es el proceso donde se revierten las reacciones de precipitación ya que esta es la forma de liberar el fósforo en el suelo, algunos de los microorganismos capaces de realizar este procedimiento son los géneros; *Erwinia spp*, *Pseudomonas spp*, *Bacillus spp*, *Rhizobium spp*, *Klebsiella spp*, *Burkholderia spp*, *Serratia spp*, *Enterobacter spp*, entre otros. <sup>40</sup>. Por parte del reino fungi se encuentran géneros como *Aspergillus spp*, *Penicillium*, *Trichoderma* y *Fusarium* <sup>40</sup>.

En el artículo de revisión, *Solubilización de fosfatos una función microbiana importante en el desarrollo vegetal*, escrito por Corrales Ramirez L, et al., en el año 2014 <sup>41</sup>, se explica que la vía que utilizan las bacterias pertenecientes al género *Bacillus spp* para poder solubilizar el fósforo es la ruta de la glicolisis, tomando la fermentación láctica primaria como la forma de obtener ácidos orgánicos como el ácido láctico, otra de las rutas empleadas es la oxidación anaerobia del piruvato para obtener ácido butírico. En este mismo género se encuentran especies que utilizan otro tipo de vías para obtener por ejemplo ácido málico que en este caso es por medio de la ruta de ácidos tricarbónicos <sup>41</sup>.

La idea general de este gran ítem es entender detalladamente cómo funcionan los biofertilizantes a base de microorganismos fijadores de nitrógeno, comprendiendo que su empleo en la agricultura genera un crecimiento rápido de los cultivos gracias a la biodisponibilidad de fosfatos que resultan de los procesos realizados por microorganismos adecuadamente empleados en el ciclo del fosforo.

### 2.3.3. Biofertilizantes con microorganismos captadores de fósforo

Las micorrizas son ampliamente las asociaciones simbióticas existentes entre los hongos de tipo Glomeromycota principalmente y las raíces de las plantas <sup>42</sup>, aproximadamente el 80% de las plantas existentes cuentan con la capacidad de formar este tipo de asociaciones. La función primordial de esta alianza es realizar el intercambio de carbono y fósforo entre el hongo y la planta por medio de los arbusculos. Como en la mayoría de los ámbitos, las micorrizas también tienen clasificaciones, las cuales pueden ser; ectomicorrizas <sup>43</sup>, ectendomicorrizas <sup>44</sup> y endomicorrizas <sup>45</sup>.

Para poder continuar es necesario comprender la razón por la cual se hace especial énfasis en las micorrizas en este ítem, tomando como referencia a Garzón L.2016 <sup>46</sup> donde se hallan resultados de otros estudios y se concluye a grandes rasgos que las micorrizas favorecen la absorción del fósforo en plantas que crecen en suelos de moderada a baja fertilidad, adicional se sabe que las micorrizas crean asociaciones con diferentes microorganismos presentes en la rizosfera lo que permite visualizar un incremento del porcentaje de colonización de estos hongos benéficos y mejorar funciones como solubilización de fosfatos orgánicos e inorgánicos, por ejemplo <sup>46</sup>.

Continuando con la clasificación de las micorrizas, se procede a sintetizar la información de cada uno de los tipos de micorrizas anteriormente mencionados, retomando la publicación de Andrade A <sup>44</sup>, quien se basa en la clasificación de Harley y Smith, cuya categorización indica:

Las **ectomicorrizas** son interacciones donde las hifas de un hongo penetran las raíces de la planta y se desarrolla rodeando las células de la corteza radical formando la red de Hartig, como consecuencia se genera una nueva estructura llamada morfotipo ectomicorrícico. Por otro lado, Andrade A <sup>44</sup> explica el siguiente grupo en la clasificación; las **endomicorrizas**, estas se dividen en, micorriza arbuscular, micorrizas de orquídeas y micorriza ericoide. La micorriza arbuscular es conocida como micorriza vesículo-arbuscular haciendo relevante las dos partes más importantes de su producto, en el caso de estas micorrizas, no hay formación de la red de Harting y es caracterizado porque las hifas penetran la raíz y llegan hasta dentro de las células formando el arbusculo y la vesícula <sup>44</sup>.

Las micorrizas de orquídeas también penetran las células, pero como su nombre lo indica, se presentan principalmente en orquídeas y estas plantas son muy dependientes del hongo debido a que son los encargados de estimular la formación y germinación de la semilla. Por otro lado, las micorrizas ericoideas, igual que los anteriores, también se encuentra la capacidad de penetrar las células radicales, pero aquí la planta implicada es del orden Ericales, por eso el nombre <sup>44</sup>.

Dando continuidad con las ectendomicorrizas, cabe aclarar que su nombre es debido a que sus características son mixtas, es decir, se reflejan cualidades de las ectomicorrizas como la red de Harting y el manto en algunas ocasiones, a su vez también es posible encontrar algo de penetración intracelular. Dentro de este subgrupo, entran las micorrizas de tipo arbutoide y las de tipo monotrofoide, aquí, las primeras tienen la capacidad de penetrar las células radicales de la planta y formar la red de Hartig, se encuentran en diferentes géneros como *Arctostaphylos*, *Arbutus* y *Pyrola*, mientras que las micorrizas de tipo monotrofoide únicamente están presentes en las plantas de la familia Monotropaceae <sup>44</sup>.

Cada una de las anteriores clasificaciones tiene su grupo de familias y géneros de microorganismos que las representan, pues poseen esas cualidades en específico, a continuación, se mencionan algunas de las familias o géneros más representativos de micorrizas con proteínas transportadores de fósforo de la familia PTH 1, quienes son indispensables en el proceso de recuperación de homeostasis en las plantas <sup>47</sup>.

*Arabidopsis thaliana*, *Capsicum frutescens*, *Glycine max*, *Hordeum vulgare*, *Lotus japonicus*, *Lycium barbarum*, *Medicago truncatula*, *Nicotiana tabacum*, *Oryza sativa*, *Poncirus trifoliata*, *Populus simonii*, *Populus trichocarpa*, *Pteris vittat*, *Setaria italica*, *Solanum lycopersicum*, *Solanum melongena*, *Solanum tuberosum*, *Sorghum bicolor*, *Triticum aestivum* y *Zea mays* <sup>47</sup>.

#### 2.3.4. Biofertilizantes con microorganismos promotores del crecimiento vegetal

Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal son aquellos que actúan en beneficio de las plantas, tanto en su crecimiento, como en su desarrollo. Algunos de los microorganismos más reconocidos con esta capacidad, pertenecen a géneros como *Rhizobium* sp.<sup>48</sup>. En el mismo artículo<sup>48</sup>, se explica la complejidad de este tipo de bacterias con respecto al mecanismo de acción que utiliza para promover el crecimiento vegetal, la dificultad se basa principalmente en que aquí se utilizan diferentes metodologías para cumplir funciones distintas y aportar al crecimiento de la planta, las cuales son:

1. Biofertilización
2. Fitoestimulación
3. Biocontrol

En otro estudio, realizado por González H et al en 2017<sup>49</sup>, se evaluó la actividad promotora de crecimiento de diferentes microorganismos, se determinó que *Mycobacterium* sp y *Bacillus mycoides* indujo y aceleró la germinación de todas las semillas con las que se probó, sin importar las especies de las mismas. Por otro lado, *Azotobacter* sp., *T. Harzianum* y *Enterobacter aerogenes* fueron efectivos de manera parcial, ya que para las plantas de arroz y yuca, no hicieron ningún efecto positivo<sup>49</sup>.

Asimismo, en el artículo *Bacterias promotoras de crecimiento vegetal para incrementar la producción de Lactuca sativa L. en campo*,<sup>50</sup> se encuentra la descripción de las propiedades que hacen que microorganismos rizosféricos tengan la capacidad de actuar como microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV), estos microorganismos específicamente actúan a través de mecanismos mencionados en los otros puntos de la monografía, es decir, tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico para convertirlo en formas de nitrógeno disponible, tienen la capacidad de solubilizar los nutrientes del suelo<sup>50</sup>.

Una característica importante de estos microorganismos rizosféricos es la producción de hormonas vegetales, un ejemplo de ellas, son las auxinas, ellas se distribuyen dentro de los

tejidos de la planta para generar procesos morfogenéticos. Las auxinas tienen dos vías de síntesis que son las principales, una de estas vías es dependiente de triptófano y la otra vía es independiente de triptófano. Sin embargo, la regulación de estas vías de síntesis son dependientes de estímulos externos, aquí será de importancia la luz, nutrientes y sequías, pero también pueden haber estímulos internos tales como las hormonas <sup>51</sup>.

A este punto es posible generar la siguiente conclusión de la información expuesta; los microorganismos promotores del crecimiento vegetal pueden actuar de formas como:

- Proveer nutrientes a las plantas: Esto es posible gracias a los microorganismos que se mencionaron que pueden absorber y solubilizar nutrientes para convertirlos en formas disponibles para las plantas.
- Producir hormonas de crecimiento: Microorganismos con capacidad de producir auxinas u otras hormonas que se involucren en el crecimiento vegetal.
- Proteger a las plantas de patógenos: Este punto se desarrolla gracias a estos microorganismos con actividad de biocontrol.

A manera de conclusión de esta parte, se resalta la importancia de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal, ya que cuentan con la capacidad de mejorar la productividad agrícola, permitiendo un crecimiento sano y rápido de las plantas, acción que beneficia tanto a los agricultores como a los consumidores, sin dejar de lado las ventajas ambientales y económicas <sup>52</sup>. Analizando las ventajas ambientales, la mayoría de ellas son gracias a la reducción de pesticidas y fertilizantes de origen sintético, al contar con microorganismos que cumplan la función de ser biocontroladores, se va a sustituir e incluso eliminar el uso de pesticidas que en su mayoría son tóxicos para la salud y el medio ambiente <sup>53</sup>. Para finalizar, se determina que la mayor ventaja del uso de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal en reemplazo de la aplicación de fertilizantes de origen sintético es la contribución a la sostenibilidad agrícola <sup>53</sup>.

### 3. Marco conceptual

Fertilizantes: La palabra fertilizante proviene del adjetivo fértil, el cual expresa la cualidad de producir mucho; generalmente se aplica a las tierras que tienen la capacidad de tener producción eficaz <sup>54</sup>.

El diccionario de fertilizantes de la Unipamplona <sup>55</sup> define fertilizante como el material orgánico o inorgánico, natural o sintético que se adiciona al suelo con la finalidad de suplir los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas <sup>55</sup>.

Biofertilizantes: Insumos biológicos basados en microorganismos que viven en el suelo o en la planta y que cumplen funciones directas o indirectas en la nutrición, bien sea, supliendo, captando o haciendo disponibles elementos esenciales para los cultivos <sup>56</sup>.

Por otro lado, se encuentra la definición de biofertilizantes, como fertilizantes orgánicos que proporcionan a las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo y a su vez contribuyen a la mejora de la calidad del suelo consiguiendo un entorno microbiológico óptimo y natural <sup>57</sup>.

Biosfera: Es la capa del planeta Tierra en donde se desarrolla la vida. La capa incluye alturas utilizadas por algunas aves en sus vuelos, de hasta diez kilómetros sobre el nivel del mar y las profundidades marinas como la fosa de Puerto Rico de más de 8 kilómetros de profundidad <sup>58</sup>.

La biosfera se define también como el sistema que incluye el espacio donde se desarrolla toda la vida que existe en la tierra, se encuentra constituido por la vida y su área desde el subsuelo hasta la atmósfera <sup>60</sup>.

Eutrofización: Enriquecimiento de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático, generando proliferación incontrolable de algas fitoplanctónicas <sup>59</sup>.

Biorremediación: El proceso donde se limpian aguas subterráneas, suelos contaminados y demás ambientes con ayuda de microorganismos cuyas capacidades metabólicas favorezcan a estos procesos <sup>61</sup>.

La biorremediación consiste en usar microorganismos para limpiar el agua subterránea y los suelos contaminados, esta práctica estimula el crecimiento de microorganismos que usan contaminantes como fuente de alimento y energía <sup>62</sup>.

Agricultura: Se define como el conjunto de actividades relacionadas con el cultivo de la tierra, que tienen como objetivo satisfacer necesidades humanas como lo es la alimentación y materia prima para las industrias <sup>63</sup>.

Es posible encontrar agricultura definida como la suma de todos los tipos de producciones que tengan como base a la tierra o estén muy relacionados con ella, estrictamente es el tipo de producción agropecuaria para el cual es necesario introducir una semilla dentro del suelo para que se multiplique <sup>64</sup>.

Rizobacterias: Es un tipo de bacteria que coloniza las raíces de algunas plantas a través de una relación simbiótica con el fin de beneficiar ambas partes, es decir llevando a cabo el mutualismo <sup>65</sup>.

Como definición de rizobacteria también se tiene que son aquellas bacterias que habitan en la rizosfera, en el área de suelo que está localizada en unión con la raíz y que se extiende a pocos milímetros de la superficie radicular <sup>66</sup>.

Hongos micorrízicos: Estos son organismos que viven en el suelo simbióticamente con la mayoría de las plantas, estos organismos aportan diferentes beneficios a las plantas, un ejemplo de ellos son los hongos les aportan características favorecedoras como la facilitación de toma de nutrientes a la planta, que sin ellos tienen baja disponibilidad <sup>67</sup>.

Este tipo de hongos destacan por su función ecológica y tienen la capacidad de tener una alta incidencia en la estabilidad de ecosistemas, una tarea fundamental que les corresponde a estos hongos es desbloquear y solubilizar los nutrientes del suelo considerados inmóviles para dejarlos disponibles para la nutrición de las plantas <sup>68</sup>.

Bacterias solubilizadoras de fosfato: Este tipo de bacterias son un grupo de microorganismos que pueden ser la base de formulación para diferentes biofertilizantes ya que tienen la capacidad de incrementar la eficiencia de la adquisición de fosfato gracias a la hidrólisis que realiza <sup>69</sup>.

En un estudio encontrado se expone que la efectividad de las bacterias solubilizadoras de fósforo depende de la capacidad de los aislados para colonizar la rizosfera y poder mantener su actividad biológica, sin embargo bien se sabe que este grupo de bacterias promueven el crecimiento de las plantas de manera tal que ofrecen a las mismas factores que antes de su aplicación no tenían disponibles <sup>70</sup>.

Bacterias fijadoras de nitrógeno: Grupo de microorganismos procariotas que son capaces de utilizar el nitrógeno atmosférico, en un proceso denominado fijación biológica de nitrógeno en el cual se convierte el  $N_2$  en  $NH_3$ , por medio del uso de ATP <sup>71</sup>. Las bacterias fijadoras de nitrógeno son un grupo que transforma el nitrógeno atmosférico en compuestos nitrogenados que son utilizados por las plantas <sup>72</sup>.

Contaminación: Según la real academia española, contaminación se define como la introducción directa o indirecta, mediante la actividad humana de sustancias, calor, vibraciones a la atmósfera, agua o suelo y pueden generar efectos perjudiciales para la salud humana o para el medioambiente, es posible que cause daños a los bienes materiales y genere deterioro en utilidades legítimas del medio ambiente <sup>73</sup>.

La contaminación es la introducción de un contaminante en un ambiente natural que causa inestabilidad, desorden o daño a un ecosistema o un ser vivo, generalmente las consecuencias de la contaminación son derivadas de la actividad humana <sup>74</sup>.

De acuerdo con Hernandez Sampieri et al. <sup>75</sup>, se considera estudio descriptivo ya que en el desarrollo de esta monografía se especifican las propiedades importantes de cada tema que se expone y se evalúan diferentes aspectos y componentes de este. La definición de estudio exploratorio es básicamente aquel estudio que se realiza en torno a un tema o problema de investigación. Finalmente un estudio explicativo es aquel donde el objetivo es realizar una descripción de conceptos o fenómenos relacionados al tema problema <sup>75</sup>.

## **4. Diseño metodológico**

### **4.1. Universo, población, muestra**

#### **4.1.1. Universo**

Bases de datos bibliográficas como ScienceDirect, PubMed, Elsevier, artículos, revistas, páginas web y otros trabajos de grado.

#### **4.1.2. Población**

Investigaciones relacionadas con la importancia de algunos elementos en el suelo, contribución a la agricultura, métodos como biofertilizantes para mejorar resultados siendo amigable con el medio ambiente y estudios comparativos con fertilizantes industriales y orgánicos, investigaciones de importancia nacional.

#### **4.1.3. Muestra**

Información de relevancia en la agricultura colombiana y en la microbiología ambiental, escritos donde se expresa la importancia del cambio de productos químicos utilizados en la industria agrícola con el fin de disminuir considerablemente las consecuencias para la salud humana y para el medio ambiente.

### **4.2. Hipótesis y variables**

#### **4.2.1. Hipótesis**

La implementación de biofertilizantes en lugar de fertilizantes industriales reducirá los efectos medioambientales ocasionados por los residuos químicos tóxicos producidos por el uso de estos últimos a corto, mediano y largo plazo.

#### **4.2.2. Variables**

Para esta revisión bibliográfica puntualmente, las variables en forma de lista son las siguientes:

- Efecto de los residuos tóxicos generados por fertilizantes sintéticos, es una de las variables dependientes que se mide para determinar su cambio a medida que se implementan los biofertilizantes.
- Efectos medioambientales, se encuentra como la segunda variable dependiente, la cual es medida para determinar su cambio a medida que se reduce el efecto de los químicos tóxicos.
- Implementación de biofertilizantes, es la variable dependiente ya que es aquella que se manipula para estudiar los efectos sobre las variables anteriores.

#### **4.3. Técnicas y procedimientos**

Revisión sistemática de la literatura donde se seleccionan artículos y estudios previamente realizados y que tuviera como fin exponer la importancia bien sea de los elementos que requiere la planta y la forma en la que algunos microorganismos le ayudan a conseguirla o en los efectos en la salud humana y medioambientales que genera la contaminación de residuos de productos de fertilizantes químicos.

#### **4.4. Tipo de investigación**

Esta propuesta es de tipo documental descriptivo, exploratorio y explicativo, cuyo propósito es recolectar y compilar información obtenida a partir de los resultados de investigaciones publicadas por medio de una revisión bibliográfica tomando como base artículos de revisión, publicaciones de tesis, revistas, libros, estudios, bases de datos como ScienceDirect, PubMed, Elsevier entre otros, que contribuyan al conocimiento relacionado con el tema y sea de interés a nivel nacional.

##### **4.4.1. Enfoque**

El trabajo presenta un enfoque cualitativo y explicativo, ya que en este se desarrollan teorías investigativas, clasificaciones conceptuales y descripción de fenómenos buscados en diferentes estudios realizados en literatura.

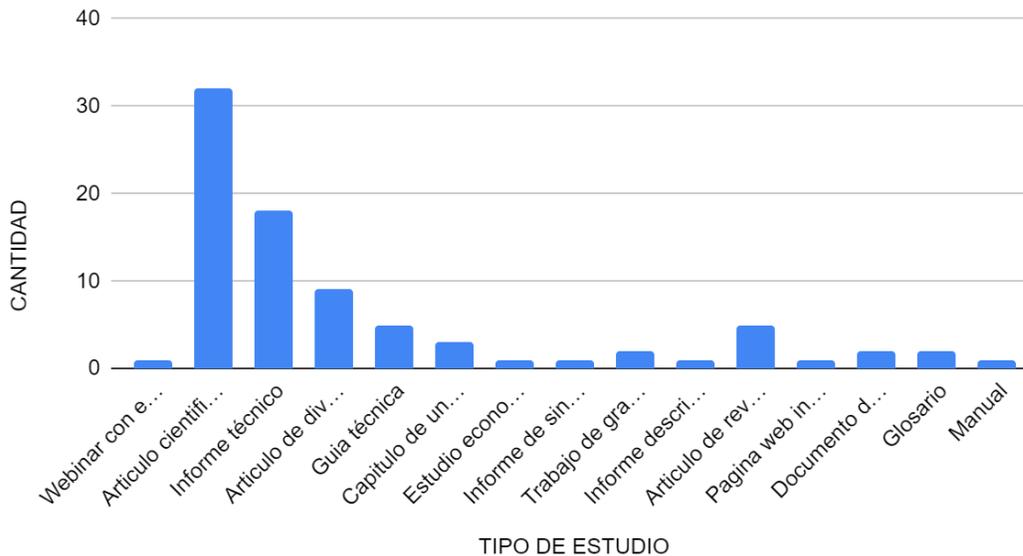
#### 4.5 Tipo de estudio

En esta monografía, se desarrolla una revisión bibliográfica ya que se analiza la información específica del tema propuesto, se colocan las evidencias de resultados de estudios realizados, por ende, se clasifica en un tipo de estudio analítico.

La información que se utilizó fue proveniente de webinar con estudio descriptivo, artículo científico, informe técnico, artículo de divulgación científica, guía técnica, capítulo de un libro, estudio económico, informe de síntesis, trabajo de grado. informe descriptivo, artículo de revisión, página web informativa, documento de política pública, glosario y manual. La cantidad de estudios de base se relaciona y se grafica a continuación:

<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Webinar con estudio descriptivo	1
Artículo científico	32
Informe técnico	18
Artículo de divulgación científica	9
Guía técnica	5
Capítulo de un libro	3
Estudio económico	1
Informe de síntesis	1
Trabajo de grado	2
Informe descriptivo	1
Artículo de revisión	5
Página web informativa	1
Documento de política pública	2
Glosario	2
Manual	1

## CANTIDAD frente a TIPO DE ESTUDIO



La metodología de selección fue filtrar estudios que tenían información sobre; agricultura, fertilización, microorganismo implicados en los ciclos biogeoquímicos, ciclo del fósforo, ciclo del nitrógeno, agricultura en Colombia, mineralización, lixiviación, micorrizas, residuos tóxicos de productos químicos y agroquímicos.

## 5. Resultados

Para finalizar, los resultados que entrega esta revisión bibliográfica ponen en evidencia que los biofertilizantes son la alternativa ideal para sustituir el uso de productos químicos, ya que es una opción sostenible para la agricultura colombiana. Los biofertilizantes cuentan con múltiples beneficios, entre los cuales es posible encontrar:

- Mejora de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, teniendo en cuenta que el principio activo de los biofertilizantes son microorganismos vivos, estos contribuyen para que las plantas puedan realizar una mejor absorción de nutrientes del, con el fin de mejorar el rendimiento de los cultivos.
- Reducción de la contaminación ambiental, los biofertilizantes no producen la cantidad de desechos tóxicos que generan los fertilizantes de productos químicos, de esta manera se disminuye la contaminación en los recursos biodisponibles de la naturaleza.
- Mejora la salud del suelo, los biofertilizantes tienen la capacidad de ayudar a mejorar la calidad, estructura y fertilidad del suelo generando cultivos más sanos y resistentes a fitopatógenos.
- Disminución de afectaciones a la salud humana, al implementar el uso de biofertilizantes se deja de generar la liberación de residuos peligrosos que son tóxicos para las personas que a diario se encuentran expuestas en el sector agrícola, adicional a ello, se disminuye la contaminación en aguas, con ello se hará notable el crecimiento de afectaciones generadas a largo plazo.

## 6. Discusión

Los fertilizantes químicos son el método más usado en la industria agrícola colombiana para generar una mayor producción. Sin embargo el uso de fertilizantes químicos puede desencadenar una serie de impactos negativos en el medio ambiente, como lo sería la contaminación del agua, aire y suelo. Específicamente se encuentra que los fertilizantes químicos, contaminan el agua de formas diferentes, es decir, cuando llueve el suelo tiene contacto con dicha agua y finalmente llega a ríos y lagos, iniciando un proceso de contaminación. Este tipo de productos químicos, tienen la capacidad de infiltrarse en el suelo para contaminar aguas subterráneas, generando eutrofización produciendo un crecimiento excesivo de algas que bloquearía la luz solar y va a impedir que la luz llegue a los demás seres vivos acuáticos, además que estos residuos contaminantes pueden ser tóxicos para estos organismos. Con respecto al agua potable, también es posible que se encuentre afectada por los residuos peligrosos que quedan en las aguas subterráneas.

Adicionalmente, el aire y el suelo son elementos que se encuentran afectados igualmente por los residuos tóxicos que generan los productos químicos, ya que tienen la capacidad de producir gases de efecto invernadero aumentando la afectación en el marco del cambio climático. Por el lado de la afectación del suelo, se encuentra que está relacionada con la alteración del pH y su estructura al acumular dichos residuos en él.

En china, Zhang et al., en el 2019 <sup>85</sup> hacen un estudio experimental donde evalúan el efecto fertilizante de algas y evidencian que la estructura del suelo mejoró dando un 10% más de rendimiento en cultivos de maíz, a su vez, al utilizar este biofertilizante se disminuyó en un 30% la necesidad de usar pesticidas tóxicos <sup>85</sup>.

En vista que los productos químicos generan múltiples impactos en diferentes niveles, se toman los biofertilizantes como alternativa de reemplazo puesto que tienen un menor impacto ambiental, a su vez mejoran la disponibilidad de nutrientes para las plantas, mejoran la salud del suelo, reducen costos de producción ya que por lo general los biofertilizantes son más económicos que los fertilizantes químicos.

## 7. Conclusiones

Los biofertilizantes son una alternativa viable y sostenible en comparación con los fertilizantes de origen químico para la agricultura colombiana, ya que en definitiva son una alternativa respetuosa con el medio ambiente, mejoran la calidad del suelo y de las plantas, reducen el uso de pesticidas y aumentan el rendimiento de los cultivos. Es recomendable la realización de investigaciones preferiblemente prácticas, con el fin de evaluar el impacto de los biofertilizantes en la agricultura colombiana y poder obtener resultados estadísticos. Estas investigaciones podrían enfocarse en aspectos como:

- Efectividad de los biofertilizantes en todos los tipos de cultivos que se realizan en la agricultura colombiana.
- Evaluación del costo-efectividad de los biofertilizantes.
- Aprobación y adherencia de los fertilizantes por parte de los agricultores.

En caso de obtener resultados tangibles favorables de investigaciones prácticas basadas en la anteriores propuestas, se puede dar paso a la implementación de políticas que promuevan el reemplazo de fertilizantes de origen químico por los biofertilizantes. El desarrollo de dichas políticas, podría realizarse mediante:

- Promover la investigación y desarrollo de biofertilizantes eficaces, rentables y asequibles para los agricultores colombianos.
- Oferta de campañas de educación y capacitación a los agricultores acerca del uso y beneficios de los biofertilizantes.
- Fomentar el uso de biofertilizantes por parte del gobierno mediante la financiación de programas de investigación a través de la creación de incentivos para los agricultores que implementen el uso de biofertilizantes.

Actualmente se están realizando campañas dirigidas a agricultores, consumidores y gobiernos cuyo fin es educar sobre los beneficios de los bioF. La FAO trabaja con un documento publicado en el año 2010 y esta organización ofrece capacitación, material educativo y asistencia con su programa de biofertilizantes, por otro lado, la organización de regeneración internacional enfatiza

en los beneficios para el medio ambiente gracias a los alimentos producidos con biofertilizantes, esta entidad trabaja para aumentar la demanda de productos con prácticas de agricultura regenerativa, finalmente la organización EcoAgriculture partners trabaja con gobiernos exponiendo los beneficios económicos y ambientales para promover políticas.

En conclusión, la acogida de biofertilizantes en la agricultura colombiana puede generar una protección al medio ambiente y a su vez aumentar la producción agrícola de calidad.

## 8. Referencias bibliográficas

1. Martínez Sánchez C. Fertilizantes para fertirriego: conceptos y propiedades. COMEII [internet]. 2020. [citado el 23 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.riego.mx/files/webinars/webinar13.pdf>
2. Jimenéz Quintero C, Pantoja Estrada A y Leonel H. Riesgos en la salud de agricultores por uso y manejo de plaguicidas, microcuena “la pila”. [internet] 2016 [citado el 25 de septiembre de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v18n3/v18n3a03.pdf>
3. Restrepo-Correa S, Pineda-Meneses E y Rios-Osorio L. Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. [internet] 2023 [citado el 15 de septiembre de 2023]. Disponible en: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num2\\_art:635](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:635)
4. Asociación internacional de la industria de los fertilizantes. FAO. Los fertilizantes y su uso. [internet] 1992 [citado el 25 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
5. Jazmín D, Impacto del uso de biofertilizantes a base de residuos orgánicos en los suelos. ConCiencia Tecnológica. [internet]. 09 de agosto de 2019, [consultado 20 de enero, 2023]; (núm 58, 2019). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/944/94461547008/html/#:~:text=El%20uso%20de%20biofertilizantes%20a,la%20reducci%C3%B3n%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20reciclado.>
6. Grajeda-Cabrera O, Diaz-Franco A, Peña-Cabriales J y Vera-Nuñez J. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura [internet]. 2012, [consultado 20 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n6/v3n6a15.pdf>
7. González P. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Marzo 2019. [ Consultado el 23 de enero 2023] [internet]. Disponible en: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf)

8. Mikkelsen R. Emisiones de amoniaco de operaciones agrícolas. Informaciones agronomicas. [internet]. 2023 [citado el 19 de junio de 2023]. Pág 24 - 27. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/251EB81E3731729F852579A0006A0E4E/\\$FILE/Emisiones%20de%20amoniaco.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/251EB81E3731729F852579A0006A0E4E/$FILE/Emisiones%20de%20amoniaco.pdf)
9. Pedraza R, Estrada G, Bonilla R. Los biofertilizantes y su relación con la sostenibilidad agrícola. Agrosavia. [internet]. 2018 [citado el 25 de junio de 2023]. Pag 32 - 45. Disponible en: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36977/Ver\\_Documento\\_36977.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36977/Ver_Documento_36977.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
10. Silva L, Bermudez A, Castiblanco D, Almario F, Mojica P, Medina C y Tamayo A. Tecnologías relacionadas con biofertilizantes. Superintendencia de industria y comercio, banco de patentes SIC. [internet]. Agosto de 2014, [consultado el 21 de enero de 2023]; (Pág 10). Disponible en: [https://www.sic.gov.co/recursos\\_user/biofertilizantes.pdf](https://www.sic.gov.co/recursos_user/biofertilizantes.pdf)
11. Cairo P, Alvarez Hernandez U. Efecto del estiércol en el suelo y en el cultivo de la soya Glycine max (L.) Merr. Vol 40 No 1. [ internet] Enero 2017. [citado el 3 de julio de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269150990005.pdf>
12. FAO. Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares, manual de capacitación para trabajadores de campo en América latina y el caribe. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, FAO. [internet] Roma 2000 [consultado el 22 de enero de 2023], (Cartilla tecnológica 5). Disponible en: <https://www.fao.org/3/v5290s/v5290s30.htm#:~:text=El%20abono%20y%20el%20compost,antes%20de%20plantar%20los%20cultivos>.
13. Servicio agrícola y ganadero, Región de Atacama, Programa SIRSD-S. Pauta para la aplicación de compost. [internet]. 2017. [citado el 16 de julio de 2023]. Disponible en: [https://www.sag.cl/sites/default/files/pauta-tecnica-aplicacion-de-compost-conc.1-2-3\\_region\\_atacama.pdf](https://www.sag.cl/sites/default/files/pauta-tecnica-aplicacion-de-compost-conc.1-2-3_region_atacama.pdf)
14. Grageda O, Diaz A, Peña J, Vera J. Revista mexicana de ciencias agrícolas.[Internet]. Diciembre de 2012, [consultado el 23 de enero de 2023] Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000600015&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015&lng=es&tlng=es).

15. Agencia de noticias UN - Agronet. Microorganismos reducen seis meses el tiempo de elaboración de compost. [internet]. Junio 2018. [citado el 27 de julio de 2023]. Disponible en:  
<https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Microorganismos-reducen-seis-meses-tiempo-de-elaboraci%C3%B3n-de-compost.aspx#:~:text=La%20principal%20fuente%20de%20energ%C3%ADa,mejoran%20sus%20condiciones%20f%C3%ADsico%2Dqu%C3%ADmicas>
16. Chavez I, Zelaya Molina L, Cruz Cárdenas C, Ruiz Ramirez S, Villalobos S. Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. Revista mexicana de ciencias agrícolas. [internet]. Octubre 2021. [Citado el 3 de agosto de 2023]. Disponible en:  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
17. Leon Moreno D, Alarcón Torres E, Gómez Álvarez M. El mercado de los biofertilizantes. Agrosavia. [internet]. 2020. [citado el 12 de agosto de 2023]. Disponible en:  
[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37084/Ver\\_Documento\\_37084.pdf?sequence=6](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37084/Ver_Documento_37084.pdf?sequence=6)
18. Perez L, Bolivar H, Diaz A. Biofertilizantes en Colombia. Productos de confitería nutracéutica y biofertilizantes. Barranquilla Universidad Simón Bolívar. 2017, [consultado el 23 de enero 2023]; (núm 179, 222) [Internet]. Disponible en:  
[https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/2204/Cap\\_6\\_Biofertilizantes\\_Colombia.pdf?sequence=10&isAllowed=y](https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/2204/Cap_6_Biofertilizantes_Colombia.pdf?sequence=10&isAllowed=y)
19. Junguito-Bonnet R, Caballero-Argáez C, Perfetti del Corral J, Lopez-Enciso E y Leibovich-Goldenberg J. Episodios de la historia de la agricultura en Colombia. [internet] 2022 [citado el 25 de septiembre de 2023]. Disponible en:  
<https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/10567/libro-episodios-de-la-agricultura-en-colombia.pdf>
20. Martinez Alvarez A. Agricultura 1.0. Así comienza la agricultura, desde sus inicios hasta la edad del bronce. Agrotécnica. 2da edición corregida. [internet]. 2021. [citado el 16 de agosto de 2023]. Disponible en:  
[https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/agricultura-a-martinez\\_tcm30-563118.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/agricultura-a-martinez_tcm30-563118.pdf)

21. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Historia de la FAO. [internet]. Septiembre 2015. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. [Consultado el 23 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/about/es/>
22. FAO. Eliminación de Grandes Cantidades de Plaguicidas en Desuso en los Países en Desarrollo - Colección FAO: Eliminación de Plaguicidas. [internet]. 1996, Roma - Italia. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. [Consultado el 23 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/b52d305d-d90b-501c-b7d7-dc6e0d26d7b8/>
23. Bravo C. Productividad del sector agrícola: una mirada global. ODEPA. [internet]. 2019. [citado el 14 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/Productividad-agricola.pdf>
24. Rodríguez D, Lugo C y Bejarano F. Estudio sobre el mercado de fertilizantes inorgánicos en Colombia (2009 - 2018).[internet]. Superintendencia de industria y comercio. 2018. [citado el 14 de septiembre de 2023]. Disponible en: [https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Proteccion\\_Competencia/Estudios\\_Economicos/Mercado%20Fertilizantes%20Organicos%20en%20Colombia.pdf](https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Proteccion_Competencia/Estudios_Economicos/Mercado%20Fertilizantes%20Organicos%20en%20Colombia.pdf)
25. González-Ulibarry P. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. [internet] 2019 [citado el 25 de septiembre de 2023]. Disponible en: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf)
26. ONU, programa para el medio ambiente. Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos. Noticias y reportajes ONU. [internet]. Noviembre de 2020. ONU, programa para el medio ambiente. [Consultado el 3 de abril de 2023]. Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPEF\\_Sp.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPEF_Sp.pdf)
27. OMS, OPS. Manejo clínico de la intoxicación aguda con pesticidas: prevención de conductas suicidas. [internet]. 2008. [citado el 11 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www1.paho.org/hq/dmdocuments/INTOXICACION%20SUICIDIO-lp-completo-R2.pdf?ua=1>

28. Agronet, Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Los nutrientes del suelo. Agronet MinAgricultura. [internet] Marzo 2019. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. [Consultado el 5 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Los-nutrientes-del-suelo-N,-P,-K.aspx>
29. Ceron Rincon E y Aristizabal Gutierrez F. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista Colombiana de biotecnología Vol XIV No 1. Instituto de Biotecnología Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. [internet] 2012 [Consultado el 15 de abril de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a26.pdf>
30. Alvarez C, Osorio N, Marin Montoya M. Identificación molecular de microorganismos asociados a la rizosfera de plantas de vainilla en Colombia. Acta biológica colombiana. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. [internet]. Junio 2013. [Consultado el 15 de abril de 2023]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2013000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2013000200007)
31. Mantilla Paredes A, Cardona G, Peña Vanegas C, Murcia U, Rodriguez M y Zambrano M. Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. Revista de biología tropical vol.57 n.4. San José Dec. [internet]. 2009. [Consultado el 15 de abril de 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442009000400002](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000400002)
32. Argüello Navarro A y Moreno Rozo L. Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias diazótrofes aisladas de suelos con cultivo de cacao. (*Theobroma cacao* L.). Universidad Francisco de Paula Santander, MAJUMBA. [internet]. Julio/Septiembre 2014. [Consultado el 15 de abril de 2023]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28122014000300006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122014000300006)
33. Tapia-Torres Y, García-Oliva F. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: Una revisión crítica. Terra Latinoam [Internet]. 2013 [citado el 15 de abril de 2023];31(3):231–42. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792013000400231](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000400231)

34. Yadirsa D, Cruz P, Ismael M, Huaca D. Análisis del nutriente vegetal fósforo en los suelos amazónicos del departamento del Caquetá [Internet].2022 Edu.co. [citado el 15 de abril de 2023]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/43181/1/dypalomaresc.pdf>
35. Munera Velez G, Meza D. EL FOSFORO ELEMENTO IMPRESCINDIBLE [Internet].2012 Edu.co. [citado el 16 de abril de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/7377066a-bac4-4402-a306-eb45caa49d1c/content>
36. 16.4D: El Ciclo del Fósforo. [internet] [citado el 16 de abril de 2023]. Disponible en [https://espanol.libretexts.org/Biologia/Microbiolog%C3%ADa/Libro%3A\\_Microbiolog%C3%ADa\\_\(Sin\\_l%C3%ADmites\)/16%3A\\_Ecolog%C3%ADa\\_Microbiana/16.4%3A\\_Ciclos\\_de\\_Nutrimientos/16.4D%3A\\_El\\_Ciclo\\_del\\_F%C3%B3sforo](https://espanol.libretexts.org/Biologia/Microbiolog%C3%ADa/Libro%3A_Microbiolog%C3%ADa_(Sin_l%C3%ADmites)/16%3A_Ecolog%C3%ADa_Microbiana/16.4%3A_Ciclos_de_Nutrimientos/16.4D%3A_El_Ciclo_del_F%C3%B3sforo)
37. Beltran Pineda M. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. Corporación Colombiana de investigación agropecuaria. [internet] enero/julio 2014. [citado el 17 de abril de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v15n1/v15n1a09.pdf>
38. Miranda FGG, Rosales VM. EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO [Internet]. Unam.mx. 2018 [citado el 17 de abril de 2023]. Disponible en: [http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2\\_Parte1\\_Eje3\\_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf](http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf)
39. Pierzynski G, Vance G, Sims T. Soils and environmental quality. [internet]. 1 mayo de 2005, Boca Raton. [citado el 17 de abril de 2023]. 3ra edición, CRC, p 584. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/b12786>
40. Patiño C, Sanclemente O. Los microorganismos solubilizadores de fósforo: una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. Unilibre. [internet] Cali, Julio / diciembre 2014 [citado el 17 de abril de 2023]. Vol 10 No 2. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v10n2/v10n2a18.pdf>
41. Corrales Ramirez L, Arevalo Galvez Z, Moreno Burbano V. Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. Revista NOVA, publicación científica en ciencias biomédicas. [internet]. Bogotá Junio 2014. [citado el 17 de abril de

- 2023]. Vol 12 No 21. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n21/v12n21a06.pdf>
42. Cuenca G, Cáceres A, Oirdobro G, Hasmy Z, Urdaneta C.c. Interciencia [internet] Caracas, enero 2007. [citado el 17 de abril de 2023]. Vol 32 No 1. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000100006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100006)
43. Garibay Oijel R, Morales Marañón E, Dominguez Gutierrez M, Flores Garcia A. Caracterización morfológica y genética de las ectomicorrizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la faja volcánica transMexicana. Rev Biodiv. [internet] Mexico, marzo 2013. [citado el 17 de abril de 2023]. Vol 84 No 1. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532013000100010](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532013000100010)
44. Andrade Torres A. Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. Revista ciencia. [internet]. Diciembre 2010. [citado el 17 de abril de 2023] Disponible en: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61\\_4/PDF/11\\_MICORRIZAS.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZAS.pdf)
45. Carrillo Saucedo S, Puente River J, Montes Resinas S, Cruz Ortega R. Las micorrizas como herramienta para la restauración ecológica. Acta botánica mexicana. [internet]. Noviembre de 2022. [citado el 17 de abril de 2023] Disponible en: <https://abm.ojs.inecol.mx/index.php/abm/article/view/1932/4303>
46. Garzón L. Importancia de las micorrizas arbusculares para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. [internet]. Junio 2016. [citado el 17 de abril de 2023]. No 42. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n42/n42a14.pdf>
47. Lira Morales J, Valenzuela Lopez M, Islas Osuna M, Osuna Enciso T, Lopez Valenzuela J y Sañudo Barajas J. Proteínas transportadoras de fósforo de la familia PHT1 y su uso potencial en la agricultura moderna. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. [internet]. Texcoco, Marzo 2020. [citado el 21 de abril de 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342019000501111](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000501111)
48. Moreno Resndez A, Garcia Mendoza V, Reyes Carrillo J. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable.

- Revista colombiana de Biotecnología. [internet]. 2018. [citado el 3 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
49. González H, Fuentes N. Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. Revista de ciencias agrícolas. [internet]. 2017. [citado el 9 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.61>
50. Martínez B, Antonio V, Bello J, Alberto F, Romero Y, Orbe D y Toribio J. Bacterias promotoras de crecimiento vegetal para incrementar la producción de Lactuca sativa L. en campo. Revista mexicana de ciencias agrícolas. [internet]. 2021. [citado el 11 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1944>
51. Garay A, Sanchez M, García B, Alvarez E y Gutierrez C. La homeostasis de las auxinas y su importancia en el desarrollo de Arabidopsis Thaliana. [internet]. 2014. [citado el 11 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/reb/v33n1/v33n1a3.pdf>
52. Banco de patente SIC. Tecnologías relacionadas con biofertilizantes. [internet]. 2014. [citado el 11 de septiembre de 2023]. Disponible en: [https://www.sic.gov.co/recursos\\_user/biofertilizantes.pdf](https://www.sic.gov.co/recursos_user/biofertilizantes.pdf)
53. Benitez N, Vivas D y Rosero E. Toxicidad de los principales plaguicidas utilizados en el municipio de Popayán, usando Bacillus subtilis. [internet]. 2009. [citado el 11 de septiembre de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a03.pdf>
54. Guzman Florez J. fertilizantes quimicos y biofertilizantes en mexico. Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria. [internet] Abril 2018. [citado el 16 de abril de 2023]. Disponible en: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/64%20Fertilizantes%20qu%20C3%ADmicos%20y%20biofertilizantes%20en%20M%20C3%A9xico..pdf>
55. Chamba-Herrera L. Glosario de términos útiles en nutrición y fertilización. [internet] 2023 [citado el 27 de septiembre de 2023] disponible en: [https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home\\_4/mod\\_virtuals/modulo2/4.pdf](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_4/mod_virtuals/modulo2/4.pdf)
56. Lara Mantilla C y Negrete J. Efecto de un bioinoculante a partir de consorcios microbianos nativos fosfato solubilizadores, en el desarrollo de pastos Angleton (Dichanthium aristatum). Rev colombiana biotecnol vol 17 no.1. [internet]. Bogotá 2015.

- [citado 28 de abril de 2023]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752015000100121&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752015000100121&script=sci_arttext&tlng=es)
57. Procuraduría federal del consumidor. Biofertilizantes. [internet] 2021 [citado el 29 de septiembre de 2023] disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es>
58. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) ¿Qué es la biosfera? [internet]. Enero de 2023. [citado 28 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/quees>
59. Anda J y Maniak U. Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el lago de Chapala, México. Interciencia. [internet]. Caracas 2007. [citado el 28 de abril de 2023]. Disponible en: [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000200007](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200007)
60. Universidad de Murcia, La biosfera. [internet] [citado el 29 de septiembre de 2023] Disponible en: [https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema\\_6\\_la\\_biosfera.pdf](https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_6_la_biosfera.pdf)
61. Garzón M, Rodríguez J, Hernández C. Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. Artículo de revisión - universidad y salud. [internet]. Bogotá 2017. [citado el 28 de abril de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n2/0124-7107-reus-19-02-00309.pdf>
62. Environmental protection agency. Guía del ciudadano sobre la biorremediación. [internet] 2017. [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: [https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/epa-542-f-12-003s\\_guia\\_del\\_ciudadano\\_sobre\\_la\\_biorremediacion.pdf](https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/epa-542-f-12-003s_guia_del_ciudadano_sobre_la_biorremediacion.pdf)
63. Gobernación Valle del Cauca. Glosario de términos agropecuarios, económicos y sociales. [internet]. 2020 [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.valledelcauca.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=viewpdf&id=28388>
64. Scalone-Echave M. Instituto de agrimensura. Definición de algunos conceptos técnicos y económicos. [internet]. 2012 [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/5922/glosario.pdf>

65. Enciclopedia de ciencias y tecnologías en argentina. Rizobacteria. [internet] 2013 [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Rizobacteria>
66. Velasco-Jimenez A, Castellanos-Hernandez G, Aarland R, Rodríguez-Sahagún A.. Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. [internet] 2020 [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
67. Barrer S. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. [internet] 2009. [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a14.pdf>
68. Restrepo-Giraldo K, Montoya-Correa M, Henao-Jaramillo P, Gutiérrez L y Molina-Guzman L. Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. [internet] 2019 [citado el 19 de septiembre de 2023] Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292019000100035](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000100035)
69. Beltran-Pineda M. Bacterias solubilizadoras de fosfato con potencial biofertilizante en suelos cultivados con papa. [internet] 2014. [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: [http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22\(2\)\\_2.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22(2)_2.pdf)
70. Restrepo-Franco G, Marulanda-Moreno S, De la Fe-Perez Y, Diaz- De la Osa A, Lucia-Baldani V y Hernandez-Rodriguez A. Bacterias solubilizadores de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. [internet] 2015 [Citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/119061/1/Bacterias-solubilizadoras-de-fosfato-y-sus-potencialidades-de-uso-Baldani.pdf>
71. Arvensis Agro. Bacterias Fijadoras de nitrógeno - Arvensis agro S.A. [internet]. 2017. [Citado el 29 de septiembre de 2023] Disponible en: <https://www.arvensis.com/es/blog-bacterias-fijadoras-de-nitrogeno-arvensis-agro-s-a/>
72. Fertilab. Bacterias fijadoras de nitrógeno en el suelo. [internet] 2017. [Citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/BACTERIAS-FIJADORAS-DE-NITROGENO-EN-EL-SUELO.pdf>

73. Real academia española. Definición de contaminación. [internet] 2014 [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://dpej.rae.es/lema/contaminaci%C3%B3n>
74. Aequae Fundación. Tipos de contaminación y sus principales consecuencias. [internet] 2021 [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.fundacionaqueae.org/wiki/tipos-contaminacion/>
75. Hernandez-Sampieri R, Fernández-Collado C, Baptista-Lucio P. Metodología de la investigación. [internet] 1997, Mc Graw Hill [citado el 29 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://josetavarez.net/Compendio-Metodologia-de-la-Investigacion.pdf>
76. Saavedra J, Galeano Olaya P, Canal N. Relaciones ecológicas entre frutos hospederos, moscas frugívoras y parasitoides en un fragmento de bosque seco tropical. Artículo de investigación: Otras ciencias agrícolas. Revista de ciencias agrícolas. [internet]. Septiembre 2016 [citado el 4 de junio de 2023]. Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/3417/4142>
77. Leal Almanza J, Gutierrez M, Castro L, Lares F, Cortés J, De los Santos S. Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L) Under shadow housing. Agrociencia. [internet]. Noviembre 2018. [citado el 16 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n8/1405-3195-agro-52-08-1149-en.pdf>
78. Perfetti J, Balcazar A, Hernández A y Leibovich J. Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Fedesarrollo. [internet]. 2013. [citado el 16 de junio de 2023]. Disponible en: [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/61/LIB\\_2013\\_Pol%C3%ADticas%20para%20el%20desarrollo%20de%20la%20agricultura\\_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/61/LIB_2013_Pol%C3%ADticas%20para%20el%20desarrollo%20de%20la%20agricultura_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
79. Junguito R, Perfetti J y Becerra A. Desarrollo de la agricultura colombiana. Fedesarrollo. [internet] Marzo, 2014. [citado el 16 de junio de 2023] Disponible en: [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/151/CDF\\_No\\_48\\_Marzo\\_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/151/CDF_No_48_Marzo_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
80. Lau C, Jarvis A y Ramirez J. Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático. [internet] 2011 [citado el 16 de junio de 2023] Disponible en:

[https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/57475/politica\\_sintesis1\\_colombia\\_cam\\_bio\\_climatico%202.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/57475/politica_sintesis1_colombia_cam_bio_climatico%202.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

81. Kalmanovitz S y López-Enciso E. Aspectos de la agricultura colombiana en el siglo XX. [internet] 2007 [citado el 16 de junio de 2023] Disponible en: [https://www.academia.edu/download/40838675/Aspectos\\_de\\_la\\_agricultura\\_colombiana\\_en\\_el\\_siglo\\_XX.pdf](https://www.academia.edu/download/40838675/Aspectos_de_la_agricultura_colombiana_en_el_siglo_XX.pdf)
82. Sánchez S, Hernández M y Ruz F. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. [internet] 2011 [citado el 16 de junio de 2023] Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942011000400001&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942011000400001&script=sci_arttext&tlng=pt)
83. Sadeghian S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guia práctica. [internet] Noviembre 2008 [citado el 16 de junio de 2023] Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/587>
84. Osorio N.W. Toma de muestras de suelos para evaluar la fertilidad del suelo. [internet] Enero 2012 [citado el 16 de junio de 2023] Disponible en: <https://bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/Toma-de-muestras-de-suelos-evaluacion-de-fertilidad-del-suelo-Walter-Osorio.pdf>
85. Fan H, Zhang Y, Li J, Jiang J, Waheed A, Wang S, et al. Effects of Organic Fertilizer Supply on Soil Properties, Tomato Yield, and Fruit Quality: A Global Meta-Analysis. Sustainability [Internet] 2023 [citado el 20 de noviembre de 2023] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/su15032556>