



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Introducción de bacterias rizosféricas en la agricultura para la
reducción de fertilizantes químicos: Revisión Sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Quiroz Rudas, Marco Aurelio (ORCID: 0000-0002-5270-4777)

ASESOR:

Mgtr. Honores Balcazar, Cesar Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico al forjador de mi camino, mi Padre Celestial, quien me acompaña y siempre me levanta de mis tropiezos, a mi madre, quien a lo largo de mi vida me ha llevado siempre por el camino del bien durante toda mi formación personal, gracias a ella, soy una mejor persona, a mi esposa y mis hijos quienes han sido mi motivación en este proceso tan largo, darme ánimos, consejos profesionales y recordarme que las cosas que valen para nuestro futuro no son fáciles de conseguir.

AGRADECIMIENTOS

Mi total gratitud a la Universidad Cesar Vallejo del Perú, que nos brinda facilidades para que a través de esta institución pude concluir mis estudios de licenciatura. De manera muy especial expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor, por ser un pilar en la conclusión de mi formación y trasmitirme de manera profesional sus valiosos conocimientos, gracias por su paciencia y apoyo, con su ayuda y asesoramiento este proyecto de investigación pudo llegar a su fin, contribuyendo de este modo a mi formación como Ingeniero Ambiental.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización.....	15
3.3. Escenario de estudio	17
3.4. Participantes	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.6. Procedimiento	18
3.7. Rigor científico	19
3.8. Método de análisis de información	20
3.9. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES	29

VI.RECOMENDACIONES.....	30
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N° 1: Mecanismos empleados por bacterias promotoras del crecimiento de las plantas.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla N° 2: Antecedentes de las bacterias rizosféricas.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla N° 3: Matriz de categorización apriorística.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla N° 4: Tipos de bacterias rizosféricas más utilizadas.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla N° 5: Ventajas de introducción de bacterias rizosféricas.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla N° 6: Cambios en la agricultura por introducción de bacterias rizosféricas.....</i>	<i>27</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N°1: Impacto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y sus contaminantes como el suelo, las aguas superficiales y aguas subterráneas.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura N°2: Modo de acción de Azospirillum en la promoción del crecimiento vegetal.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura N°3: Efecto de PGPR sobre el desempeño de la caña de azúcar cultivada en campos comerciales.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura N°4: Correlación estadística entre la composición del suelo (pH, C, N, P, K, C / N) y el índice de diversidad (H ').....</i>	<i>24</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico N°1: Procedimiento de recolección de datos.....</i>	<i>16</i>
--	-----------

RESUMEN

El actual trabajo de investigación presentó como su objetivo general es determinar de qué manera la introducción de bacterias rizosféricas mejora el suelo contaminado con fertilizantes químicos así como clasificar a las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos, Determinar el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas y Analizar las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura; aplicando para ello una revisión sistemática de 53 literaturas de las cuales se añadieron al estudio 20, obteniendo que:

Las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos son los Bacillus, Pseudomonas y Actinobacteria en un 90%, ya que en especial estas toleran un alto nivel de toxicidad y estrés bajo los fertilizantes químicos que; el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas presenta una correlación entre la composición del suelo en el pH, C, N, P, K, C / N y el índice de diversidad del hidrógeno; ya que, estas presentan una correlación directa con la diversidad bacteriana que se genera por la introducción de bacterias rizosféricas y que las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura son el crecimiento de las plantas, generando la estimulación y un aumento en el rendimiento de granos, brotes, plantas, crecimiento de raíces y adsorción de micronutrientes.

Palabras clave: Bacterias, rizosfera, bacilos, abonos químicos, tratamiento, ventajas, tipos de bacterias, rizosfera.

ABSTRACT

The general objective of this research work was to define how the introduction of rhizospheric bacteria improves soil contaminated with chemical fertilisers and to classify the most studied rhizospheric bacteria for the reduction of chemical fertilisers, to determine the change in the physical-chemical composition of the soil after the introduction of rhizospheric bacteria and to analyse the advantages of introducing rhizospheric bacteria in agriculture; applying a systematic review of 53 literatures of which 20 were added to the study, obtaining that:

The most studied rhizospheric bacteria for the reduction of chemical fertilizers are Bacillus, Pseudomonas and Actinobacteria in 90%, since especially these tolerate a high level of toxicity and stress under chemical fertilizers that; the change in the physical-chemical composition of the soil after the introduction of rhizospheric bacteria presents a correlation between the composition of the soil in pH, C, N, P, K, C / N and the index of hydrogen diversity; These show a direct correlation with the bacterial diversity generated by the introduction of rhizospheric bacteria and that the advantages of introducing rhizospheric bacteria in agriculture are the growth of plants, generating stimulation and an increase in the yield of grains, shoots, plants, root growth and adsorption of micronutrients.

Keywords: Bacteria, rhizosphere, bacillus, chemical fertilisers, treatment, advantages, types of bacteria, rhizosphere.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la población mundial ha provocado un aumento de la demanda de alimentos y energía, intensificando así el uso de la tierra agrícola (Schmidt Jennifer E. et al., 2020, p.2). Junto con la urbanización, las malas prácticas de cultivo de plantas y mantenimiento del suelo han tenido consecuencias adversas en los suelos agrícolas, que van desde la reducción hasta la pérdida del contenido microbiano del suelo, y la extinción / migración de organismos importantes del suelo (Furtak K. y Gajda A., 2018, p.4).

Dentro del perfil superior del suelo, la rizosfera alberga numerosos microbios que son responsables de la productividad y sostenibilidad de las plantas (Liang Hebin, et al., 2019, p.1). Sin embargo, con el aumento del uso inadecuado de la tierra y las diferentes prácticas agrícolas, la calidad de esta región del suelo se deprecia y los microbios quedan incapacitados (Schmidt Jennifer E. et al., 2019).

Existen diversas técnicas y prácticas usadas en la agricultura, especialmente en las prácticas agrícolas que generan alteración del suelo, como la pérdida de fertilidad y trayendo consigo la reducción de la producción de los productos (Calicioglu Ozgul et al., 2019, p.2). Esto ocurre porque se interrumpe el proceso de trabajo en el suelo que realizan las enzimas y microorganismos y también se afecta la respiración basal del suelo; estos son los responsables de mediar la calidad y el estado del suelo (Wei Muhong et al., 2021, p.1).

También se ha informado que el resultante efecto sobre la comunidad microbiana de la rizosfera inevitablemente pone la salud del suelo en riesgo y está en peligro, ya que su microbiota está vinculada a su bienestar y vitalidad (Jiang Si-Qi et al., 2019, p.3). Debido a un aumento en las prácticas de uso de la tierra, cambios en el diseño y composición de la microbiota de la rizosfera (Mahrous Nahed N. et al., 2019, p.3).

El papel que juega la microbioma de la rizosfera es fundamental para el crecimiento, desarrollo y comportamiento de las plantas por ende no puede pasar desapercibida (Moreau Delphine et al., 2019, p.1).

En la rizosfera se encuentran diversos genes, genes que brindan características, rasgos y brindan los detalles de las plantas (Cyprowski Marcin et al., 2018, p.1). Se han identificado numerosos microbios que habitan en la rizosfera, algunos de los

cuales son las proteobacterias, bacterias fijadoras de nitrógeno, rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, hongos micorrízicos y micoparásitos (Kaushal Manoj, 2019, p.1).

Asimismo, en la rizosfera de la planta residen compuestos químicos como los aminoácidos (cristaltionina y homoserina), que inhiben los nematodos, los carbohidratos (fructosa), que potencian el crecimiento de microorganismos, y los esteroides (sitosterol), que regulan el crecimiento de las plantas (Omotayo Oluwadara P. y Babalola Olubukola O., 2020, p.1). Para que estos microbios del suelo persistan y no se vean vulnerados se deben de realizar correctas prácticas agrícolas, como técnicas o métodos que se utilizan comúnmente (Sharifzadeh Mohammad S. et al., 2018, p.2).

Debido a que los microorganismos juegan un papel crucial en la determinación de la salud del suelo, al mantenimiento y mejora de su función en el hábitat natural se plantea el siguiente problema general: ¿De qué manera la introducción de bacterias rizosféricas mejora el suelo contaminado con fertilizantes químicos? Dando ello lugar a los siguientes problemas específicos.

PE1: ¿Cuáles son las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos?

PE2: ¿Cuál es el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas?

PE3: ¿Cuáles son las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura?

Y como objetivo general se planteó: Determinar de qué manera la introducción de bacterias rizosféricas mejora el suelo contaminado con fertilizantes químicos. Así mismo los objetivos específicos se concentraron en:

OE1: Clasificar a las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos.

OE2: Determinar el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas.

OE3: Analizar las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura.

Esta revisión sistemática presenta una justificación teórica; ya que, buscará analizar y describir los conocimientos existentes acerca de la introducción de bacterias rizosféricas en la agricultura para resolver la problemática de los fertilizantes químicos y sus efectos negativos que conlleve; generando de esta manera una reflexión en los futuros investigadores y lectores, acerca de las malas prácticas agrícolas.

Este resultado se justifica de manera metodológica según las indicaciones de los autores, Di Salvo Lucina P. et al., 2018, Ochoa – Velasco et al., 2016, Paungfoo Lonhienne et al., 2020, Zhang Jun hua et al., 2021, quienes proponen el uso de las bacterias rizosféricas más confiables para la reducción de fertilizantes químicos son los *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Actinobacteria* en un 90%, ya que en especial estas toleran un alto nivel de toxicidad y estrés bajo los fertilizantes químicos.

La justificación práctica Según Zeffa Douglas M. et al., 2019 quien afirma que el desarrollo de cultivos con una eficiencia mejorada en el uso de nitrógeno (EUN) junto con la aplicación de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas se considera una de las principales estrategias para la reducción del uso de fertilizantes; aplicando en su estudio la bacteria rizosférica *Azospirillum brasilense* y la inoculación de semillas con la PGPR intensificó el crecimiento de las plantas, mejoró los rasgos bioquímicos y elevó la EUN bajo déficit de nitrógeno.

Así mismo presenta una justificación ambiental después de la introducción de bacterias rizosféricas intensificó el crecimiento de las plantas, mejoró los rasgos bioquímicos, reducen la erosión de los suelos reduce la toxicidad del níquel en el suelo y aumenta el crecimiento de árboles forestales mejorando el medio ambiente.

El aspecto social es la justificación más importante de nuestra investigación se busca lograr el uso adecuado de las bacterias rizosféricas más confiables con la finalidad de reducir los fertilizantes químicos generando la estimulación y un aumento en el rendimiento de granos, brotes, plantas, crecimiento de raíces y adsorción de micronutrientes.

II. MARCO TEÓRICO

La intensificación de la agricultura para satisfacer la demanda cada vez mayor de alimentos ha tenido un impacto negativo en el ecosistema y la agricultura de conservación se ha destacado como un enfoque integral de la sostenibilidad (Sigh Upma C. et al., 2020, p.1). Las prácticas agrícolas intensivas basadas en insumos externos han dado lugar a un aumento del suministro de alimentos a costa de un deterioro considerable de la calidad y la salud del suelo (Ashok Vaishali et al., 2019, p.2).

La calidad ambiental, del suelo y otros factores se han visto afectados por las prácticas intensivas de la utilización de fertilizantes químicos (Singh Rishikesh et al., 2020, p.2). Donde la aplicación de fertilizantes químicos puede aumentar el rendimiento de los cultivos rápidamente, pero también pueden causar el endurecimiento del suelo y disminuir la materia orgánica y el pH del suelo después de un largo período de aplicación (Wang Quan et al., 2019, p.2). Lo que resulta en una pérdida de productividad del suelo, sin embargo, la mayor parte de los fertilizantes químicos se escurrirá o lixiviará debido a la lluvia y al riego intenso, lo que provocará una contaminación ambiental y un menor efecto fertilizante (Wang Junli et al., 2017, p.1).

Los productos humanos como fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas y hormonas vegetales se aplican a menudo en áreas agrícolas intensivas para mantener altos rendimientos (Kang Du et al., 2018, p.1). Durante el último siglo, el uso creciente de agroquímicos comerciales resultó en la bioacumulación de diversos contaminantes dentro de los suelos agrícolas y cuerpos de agua cercanos (Bhattacharyya Chandrima et al., 2020, p.3).

La aplicación de estos fertilizantes inorgánicos al suelo, junto con nutrientes minerales, agrega HM, RDN, contaminantes orgánicos y patógenos al suelo (Chen Chenglong et al., 2016, p.3). El nitrógeno de los fertilizantes aplicados se convierte en NH_3 y NH_4^+ que se oxida a NO_3^- y produce protones (H^+) y disminuye el pH del suelo que resulta en la acidificación del suelo (Elouear Zouheir et al., 2016, p.2). El suelo acidificado causa toxicidad mineral y deficiencia de minerales que, en última instancia, da como resultado un suelo con mala salud (Xiao Xun et al., 2021, p.2). NO_3^- del suelo contamina los recursos hídricos superficiales y subterráneos,

además, NO_2^- también entra en el agua superficial y se oxida a NO_3^- por el oxígeno disuelto en el agua, lo que provoca la reducción del nivel de oxígeno en el agua (Altieri M. y Nicholls C., 2017, p.4).

El fósforo del suelo se filtra a los cuerpos de agua superficiales y causa eutrofización que da como resultado la proliferación de algas que, al morir y descomponerse, agotan el nivel de oxígeno disuelto (Rojas Downing M. et al., 2017, p.1). Los HM, RDN y coliformes ingresan a la cadena alimentaria desde el suelo a través de las plantas y los recursos hídricos y afectan negativamente el ecosistema y la vida humana y animal HM, metales pesados; RDN, radionucleidos; DE, fertilizantes orgánicos; NO_3^- , nitrato; NO_2^- , nitrito; NH_3 , amoníaco; NH_4^+ , amonio (Jalota S. et al., 2018, p.195).

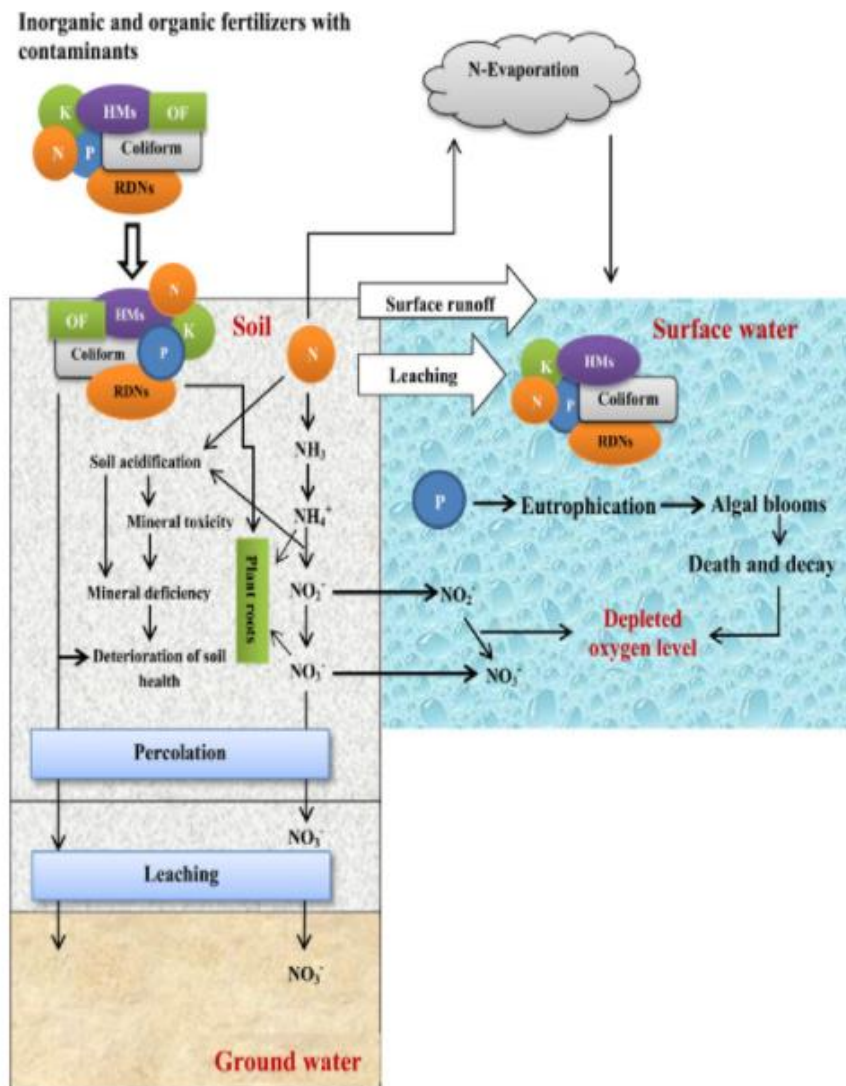


Figura N°1: Impacto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y sus contaminantes en el suelo, las aguas superficiales y subterráneas

Fuente: Khan M. N. et al., 2018

Como se ve en la figura 1, la aplicación precisa de fertilizantes a las plantas da resultados prometedores, sin embargo, los mismos fertilizantes, cuando se usan indiscriminadamente, plantean serias amenazas al medio ambiente y provocan la contaminación del suelo y los cuerpos de agua.

Estos productos químicos suelen constituir la mayoría de los contaminantes de origen no puntual de los ecosistemas acuáticos superficiales aguas abajo cuando son transportados por escorrentías o efluentes de riego (Carvalho Fernando P., 2017, p.1). Estas son algunas de las fuentes de contaminación más predominantes que causan eutrofización y proliferación de algas nocivas y destruyen la red alimentaria y el equilibrio del ecosistema acuático (Bhattacharyya Chandrima et al., 2017, p.1).

Por lo tanto, la reducción de las entradas de contaminantes orgánicos y nutrientes excesivos en los ecosistemas acuáticos aguas abajo es de importancia práctica (Jayaraj Ravindran et al., 2016, p.3).

Del mismo modo, es correcto indicar que los agroquímicos son los diversos compuestos químicos que se utilizan en la agricultura y comprenden una amplia gama de pesticidas, fertilizantes sintéticos hormonas y otros agentes químicos de crecimiento; siendo entre ellos los pesticidas los más utilizados (Mahanty Trishna et al., 2017, p.2).

Los plaguicidas se clasifican en función de las plagas a las que van dirigido, por ejemplo, los insecticidas se utilizan para matar insectos y sus larvas que causan daños a las plantas cultivables (Berninger Teresa et al., 2018, p.3). Los nematicidas se utilizan para eliminar los nematodos parásitos de las plantas, los herbicidas se utilizan ampliamente para controlar el crecimiento de malezas y especies vegetales no deseadas (Mahmoud Abdel y Col, 2017, p.4).

Los fungicidas se utilizan para eliminar los hongos patógenos hongos patógenos y esporas, aunque los agroquímicos elevan el rendimiento de los cultivos su uso excesivo causa graves daños al medio ambiente (Zheng Man Man et al., 2021, p.2).

Los insecticidas que se utilizan principalmente en los países en desarrollo incluyen los organoclorados organofosforados, carbamatos y piretroides; en la India, el 76% de los pesticidas utilizados son insecticidas, frente al 44% a escala mundial (Dalefield R., 2017, p.231).

Además, la aplicación extensiva de fertilizantes y pesticidas químicos ha provocado la contaminación de las masas de agua, el suelo y la vegetación cercana (Kumar Vaneet et al., 2019, p.1). Confirmando estudios, sobre contaminación por la biomagnificación de estas entidades químicas en diferentes niveles tróficos a lo largo de la cadena alimentaria (Nan Z. et al., 2021, p.1). Además, la migración de algunas materias orgánicas naturales, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, a los ecosistemas acuáticos representa una peligrosa amenaza para algunos animales beneficiosos como los renacuajos (Nasiri Yousef, 2021, p.2). Mientras que la microflora se ve afectada por la presencia de los diversos productos químicos en el suelo y genera el agotamiento de su contenido orgánico (Song Guixue et al., 2017, p.1).

También, varios productos intermedios y transformables quedan retenidos en el suelo, lo que supone una grave amenaza para las formas de vida; entre ellos se encuentra la acumulación de varios agroquímicos hidrofóbicos como el ditiotretol (DDT), el endosulfán, el heptacloro, el lindano y sus productos intermedios (Jayaraj et al., 2016).

Entre los agroquímicos hidrofílicos, el triclopir inhibe las bacterias nitrificantes que convierten el amoníaco en nitrito, mientras que el ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D) inhibe la actividad de las algas verde azules fijadoras de nitrógeno (Yadav Monika et al., 2021, p.4). Así pues, el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas químicos reduce el número de microorganismos beneficiosos del suelo y, a su vez, la fertilidad del mismo (Liao Ho et al., 2020, p.1). Donde la escorrentía y la lixiviación de los plaguicidas a los arroyos, lagos y superficies acuáticas cercanas también dan lugar a la proliferación de algas, lo que tiene un efecto adverso en el ciclo vital de los animales acuáticos (Wu Meng et al., 2019, p.1).

Los fertilizantes químicos utilizados en la agricultura son la principal fuente de contaminantes de nitrógeno inorgánico (INC) en el suelo que también ingresan a los cuerpos de agua circundantes a través de la infiltración y las escorrentías superficiales (Padhye Lokesh P. et al., 2017, p.1).

Los medios eficaces y respetuosos con el medio ambiente para eliminar estos contaminantes del ecosistema siguen siendo un desafío en la práctica agrícola sostenible y la eficacia de la formulación de un biofertilizante depende en gran medida

de la capacidad de supervivencia de las rizobacterias que la componen en el suelo (Hassan Nabil M. et al., 2016, p.11).

Una vía es utilizar rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) como biofertilizante para reducir la dependencia de los fertilizantes químicos (Jalota S. y Vashisht B., 2016, p.2). Recientemente se ha propuesto el potencial del PGPR para mejorar la eficiencia de la combinación de fertilizantes orgánicos y químicos (Paungfoo Lonhienne C. et al., 2020, p.1). Las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas son las bacterias de la rizosfera, que pueden mejorar el crecimiento de las plantas (Mohamed Yousry et al., 2021, p.1).

Estos microorganismos pueden mejorar el reciclaje de nutrientes de las plantas y disminuir el uso de fertilización química (Zhang Yingnan et al., 2020, p.3). En general, las PGPR promueven directamente el crecimiento de las plantas facilitando la adquisición de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, etc.) y la modulación de fitohormonas (González Rodríguez G. et al., 2018, p.3). Algunas PGPR también pueden promover indirectamente el crecimiento de las plantas suprimiendo diferentes factores inhibidores bióticos y abióticos que muestran un efecto adverso en la salud de la planta (los factores bióticos incluyen varios ataques de patógenos y los factores abióticos incluyen la sequía y la salinidad) (Berninger T. et al., 2017, p.1).

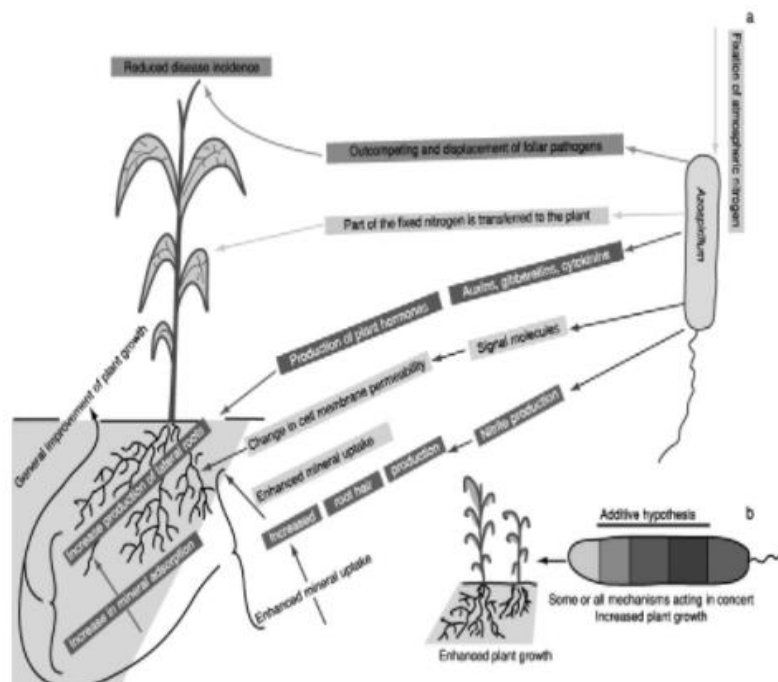


Figura N°2: Modo de acción de *Azospirillum* en la promoción del crecimiento vegetal.

Fuente: Abdel – Hamid M. et al., 2021

Como se observa en la figura 2, se da el crecimiento mejorado de la planta mediante la inoculación de las bacterias. Ello debido a que en las plantas co-inoculadas, la nutrición es más equilibrada y la adsorción de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes minerales mejora significativamente, produciendo una mejor cosecha

Entre las bacterias prometedoras como biofertilizantes en la agricultura orgánica y los ecosistemas de agricultura sostenible el PGPR comprende las siguientes especies bacterianas: *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* y *Serratia*, que mejoran el crecimiento de las plantas y la producción de rendimiento (Kumar Ravi S. et al., 2020, p.3).

Debido a ello, existe mucho interés en mejorar el suministro de nutrientes a las plantas con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), ya que, estos microorganismos promueven el crecimiento de las plantas mediante numerosos mecanismos (Kumar Adarsh et al., 2017, p.1). Como el aumento del suministro de nutrientes, el aumento de la biomasa radicular o del área de las raíces, y el aumento de la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas y capacidad de absorción de nutrientes (Srivastava S. et al., 2020, p.3).

Unas técnicas fiables para el suministro de PGPR proporcionarán las condiciones óptimas para mantener la abundancia y robustez de las PGPR en el suelo, y maximizar su actividad en la rizosfera (Gouda Sushanto et al., 2016, p.1). Actualmente, existen varios tipos de formulación con o sin uso de materiales portadores (por ejemplo, líquido, polvo liofilizado, turba y gránulos) y cada tipo tiene sus propias ventajas y límites, donde las formulaciones basadas en portadores han mostrado resultados exitosos para mantener una alta viabilidad bacteriana (Srivastava S. et al., 2016, p.1).

Un ejemplo es el estudio de Paungfoo Lonhienne C. et al., (2020, p.4) quien demuestra los resultados de la introducción de rizobacterias en un campo de cultivo de caña de azúcar para reducir el uso de fertilizantes (Ver figura N° 3). Donde la caña de azúcar se cultivó durante nueve meses en Soil Mate (SM) o media SM complementada con EcoNPK (1 / 2SM + Eco), en ausencia (control) o presencia de la bacteria SOS3 (PGPR). Las barras representan promedios y errores estándar. Los asteriscos sobre las barras indican diferencias significativas con el control (sin PGPR).

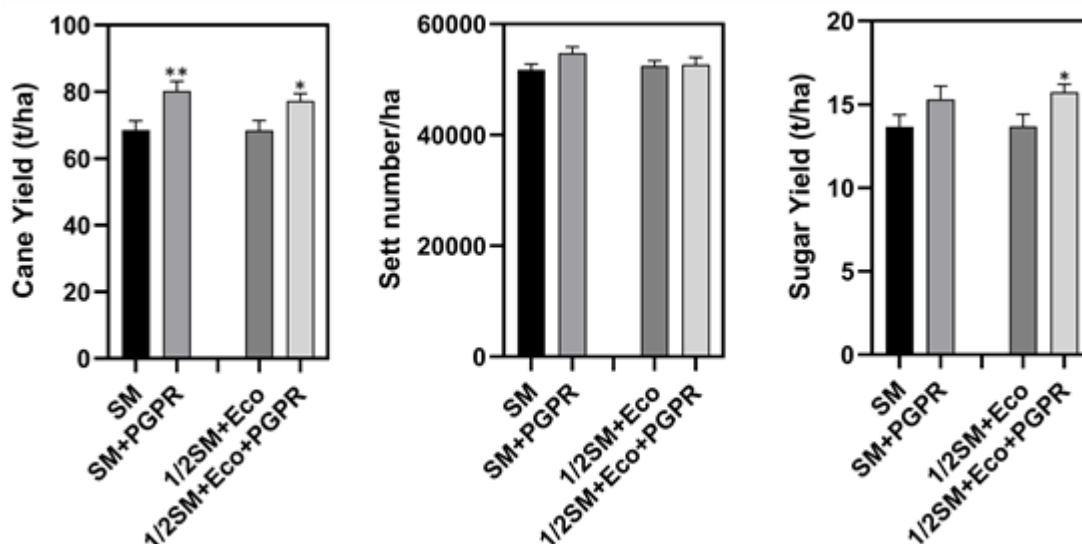


Figura N°3: Efecto de PGPR sobre el desempeño de la caña de azúcar cultivada en campos comerciales

Fuente: Paungfoo Lonhienne C. et al., 2020

Concluyendo que la adición de PGPR al uso combinado de inorgánicos y lo orgánico tiene implicaciones potenciales para los sectores agrícolas que buscan formas innovadoras de lograr un valor nutricional mejorado sin dañar el medio ambiente.

Así también se muestra en la Tabla 1 las especies bacterianas y el mecanismo realizado para el proceso óptimo del crecimiento de las plantas.

Mecanismos	Efecto sobre el crecimiento de las plantas	Ejemplos de especies bacterianas
Fijación de nitrógeno asociada a las raíces	Incrementar el contenido de nitrógeno y la biomasa.	<i>Azospirillum</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Cyanobacteria</i> , <i>Herbaspirillum</i>
Producción de hormonas vegetales (auxina, giberelina, citoquinina)	Estimula la ramificación de las raíces, aumenta la biomasa de brotes y raíces e induce el ciclo reproductivo	<i>Azospirillum</i>
Solubilización de fosfato	Incrementar el contenido de biomasa y P	<i>Bacillus lichiniformis</i> , <i>Vibrio</i>
Inhibición de la síntesis de etileno vegetal.	Aumentar la longitud de la raíz	<i>Pseudomonas putida</i>
Oxidación del azufre	Aumentar la biomasa y el contenido de nutrientes foliares.	<i>Indefinido</i>
Producción de moléculas de señal y extrusión de protones mejorada.	Cambio en el metabolismo de las plantas relacionado con la absorción de minerales.	<i>Azospirillum</i> , <i>Achromobacter</i>
Incrementa la permeabilidad de las raíces.	Incrementar la absorción de biomasa y nutrientes.	<i>Azospirillum</i>
Mejora la absorción general de minerales.	Incrementar la absorción de biomasa y nutrientes.	<i>Azospirillum</i>

Incrementar la producción de nitritos.	Incrementa la formación de raíces laterales.	<i>Azospirillum</i>
Incrementa la acumulación de nitratos.	Incrementar el contenido de biomasa y nitratos	<i>Azospirillum</i>
Reducir la toxicidad de los metales pesados	Protección contra la toxicidad del níquel	<i>Kluyvera</i>
Aumentar los nódulos o el tamaño de las leguminosas.	Incrementar la biomasa, el contenido de N y el rendimiento reproductivo.	<i>Azospirillum</i>
Aumentar el tamaño o los nódulos de la raíz del aliso	Incrementar el contenido de biomasa y N	<i>Frankia</i>
Aumentar la frecuencia de infección por hongos endomicorrízicos.	Incrementar la biomasa	<i>Pseudomonas</i>
Aumentar el número de puntas radiculares ectomicorrízicas	Incrementar la biomasa	<i>Pseudomonas</i>
Aumentar la producción temporal de 'raíces de lluvia' en cactus	Mejorar la supervivencia de las plántulas durante la sequía.	<i>Azospirillum</i>
Incrementar la resistencia a condiciones adversas (sequía, salinidad, toxicidad del compost)	Mejorar la supervivencia de las plántulas y aumentar la biomasa.	<i>Azospirillum</i>
Hipótesis aditiva	Incrementar la biomasa como resultado de varios mecanismos de pequeña magnitud que trabajan en conjunto o al mismo tiempo.	<i>Azo</i>

Tabla N°1: Mecanismos empleados por bacterias promotoras del crecimiento de las plantas

Fuente: Moeller Kurt et al., 2018

Consiguientemente se presenta en la tabla N°2, los antecedentes de investigación basados en artículos científicos a nivel nacional e internacional, con base en las bacterias rizosféricas inducidas en la agricultura para la reducción de fertilizantes químicos.

Tabla N°2: Antecedentes de las bacterias rizosféricas

Fuente	Referencia	Bacterias rizosféricas	Resultado
Sciencedirect	Hou Shengpen g et al., 2018	<i>Rhodobacteraceae</i> y <i>Burkholderiales</i>	La comunidad desnitrificadora de tipo nirK. Aproximadamente el 31% de los desnitrificantes de tipo marcados con 13 Serán más abundantes en la rizosfera que en el suelo a granel
Sciencedirect	Cheng Hongyan et al., 2020	<i>Bacteroidetes</i> y <i>Proteobacteria</i>	Los filos predominantes fueron Proteobacteria (48,69%), Acidobacteria (23,11%), Bacteroidetes(20,67%), Actinobacterias (19,21%), Gemmatimonadetes(12,03%) y Cloroflexi(8,05%).
Sciencedirect	Bona Elisa et al., 2018	Hongos AM y <i>Pseudomonas</i> sp.	la inoculación con microorganismos del suelo puede ayudar a reducir

		<i>19Fv1T</i> o <i>P. fluorescens C7</i>	drásticamente el uso de fertilización química, manteniendo y, en algunos casos, incluso mejorando el rendimiento y la calidad del fruto del tomate. Esto puede generar beneficios económicos, ambientales y para la salud humana en relación con una mayor sostenibilidad.
Sciencedirect	Di Salvo Lucina P. et al., 2018	<i>Azospirillum brasilense</i> o <i>Pseudomonas fluorescens</i>	La fertilización con nitrógeno y la inoculación de PGPR aumentaron el rendimiento de grano de maíz.
Sciencedirect	Trabelsi Darine et al., 2017	Comamonadaceae, Bradyrhizobacteriaceae y Oxalobacteraceae	Estas bacterias pueden contribuir a la solubilización del fosfato mediante la producción de ácidos orgánicos (es decir, ácido cítrico) y fitohormonas (es decir, ácido indol acético) que estimulan el desarrollo de las raíces de las plantas y ayudan a la absorción de P aumentando el área de superficie de absorción.
Sciencedirect	Emami Somayeh et al., 2020	<i>Bacterias rizosféricas y endofíticas</i>	En la etapa de maduración, las macetas tratadas en consorcio (coinoculación con bacterias rizosféricas y endofíticas) exhibieron una altura de planta mejorada (hasta un 15.0% y 11.0%), peso seco de brotes (hasta 5.8% y 7.5%), peso seco de raíz (hasta 68% y 58%) y rendimiento de grano (hasta 58.0% y 42.0%), en los cultivares Marvdasht y Roshan respectivamente.
Sciencedirect	Zecchin Sarah et al., 2017	<i>Geobacteraceae-</i>	Estos resultados indican un posible papel activo de las bacterias rizosféricas que ciclan el hierro y el arsénico en la determinación de la acumulación de arsénico en los granos de arroz de plantas cultivadas bajo inundaciones continuas, incluso en suelos con bajo contenido de arsénico.
Sciencedirect	Leite Marcio Fa et al., 2021	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Paraburkholderia caribensis</i> IAC / BECa 88, <i>Kosakonia oryzae</i> IAC / BECa 90, <i>Kosakonia radicincitans</i> IAC / BECa 95, <i>Paraburkholderia tropica</i>	Los resultados muestran que estos microbios beneficiosos mejoraron la absorción de nutrientes de las plantas condicionada a un aporte reducido de nitrógeno. Por lo tanto, la fertilización reducida no solo es una consecuencia deseable de la inoculación bacteriana, sino que es esencial para un mayor impacto de estas bacterias beneficiosas en el microbioma de la caña de azúcar.
Scopus	Ochoa – Velasco et al., 2016	<i>Bacillus licheniformis</i>	La biosíntesis de los compuestos antioxidantes hidrófilos parece ser un mecanismo de resistencia inducido causado por el estrés por deficiencia

			de nitrógeno. Además, <i>B. licheniformis</i> tuvo un efecto neto positivo en la síntesis de flavonoides por la planta a una dosis de nitrógeno del 75%.
Scopus	Lima Josué V. et al., 2021	<i>Bacillus subtilis</i>	La inoculación influyó positivamente en el volumen de la raíz con un aumento promedio de 46,7%, 28,4% de longitud total de raíz, 42,5% de superficie total, 43,7% de diámetro medio, 203% de puntas y 115% de ramificaciones al comparar la media de BRM 32113 y UFRA.
Sciadencedirect	Paungfoo Lonhienne et al., 2020	PGPR	Mostramos que la adición de PGPR a suelos enmendados con fertilizantes nitrogenados 50% orgánicos y 50% convencionales aumentó el crecimiento de pasto kikuyu (), produciendo rendimientos similares a los obtenidos con fertilizantes nitrogenados 100% convencionales.
Sciadencedirect	Moncada Alessandra et al., 2021	<i>Bacillus</i> spp.	El inóculo del sustrato con PGPR no tuvo ningún efecto significativo sobre el crecimiento de plantas de albahaca, pero mostró que sea eficaz en la disminución del contenido de nitrato de hojas de albahaca .
Sciadencedirect	Zhang Junhua et al., 2021	<i>Azospirillum brasilense</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Los tratamientos mejoraron en gran medida las actividades de nitrogenasa en la rizosfera en comparación con el M0 tratamientos, especialmente para aplicaciones bajas en <i>N. Azospirillum brasilense</i> y <i>P. fluorescens</i> no participó en los procesos de nitrificación ni en los procesos de desnitrificación en el suelo.
Scopus	Pereira S. et al., 2020	<i>Cupriavidus necator</i> 1C2 (B1) y <i>Pseudomonas fluorescens</i>	El tamaño de los inóculos aplicados tuvo una influencia marginal en los parámetros biométricos y de nutrientes, aunque la mayor concentración de la mezcla de PGPR fue la más efectiva para mejorar la biomasa de los brotes bajo un déficit hídrico moderado.
Scopus	Brunetti Cecilia et al., 2021	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	En general, los resultados experimentales muestran que la coinoculación con ACC desaminasa PGPR afecta positivamente la tolerancia al déficit hídrico, lo que confirma el potencial de aplicaciones biotecnológicas en áreas agrícolas con estrés hídrico.

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio presenta una investigación cualitativa; ya que, la investigación cualitativa es infinitamente creativa e interpretativa y el investigador no solo deja el campo con montañas de datos empíricos y luego escribe fácilmente sus hallazgos.

El tipo de investigación es aplicada con enfoque cualitativa, porque se busca resolver la problemática de los fertilizantes químicos usados en la agricultura; buscando aplicar la inducción de bacterias rizosféricas; De acuerdo con Valderrama, (2013, p.38) está diseñada para responder preguntas específicas destinadas a resolver problemas prácticos.

Además, el diseño de investigación propuesto es la narrativa de tópicos, porque se va a realizar una recopilación de datos e informaciones que ayuden a resolver el objetivo general planteado y analizar los relatos que pasaron los investigadores para ofrecer interpretaciones. La investigación narrativa de tópico es el estudio de la experiencia como un relato, entonces, es primero que nada y sobre todo una forma de pensar sobre la experiencia y usar la metodología de la investigación narrativa es adoptar una óptica narrativa particular que ve a la experiencia como el fenómeno bajo estudio (Veland, Siri, et al., 2018, p.31).

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Los criterios utilizados para la elaboración de las sub categorías se encuentran en base a las categorías y estas en función a los tres objetivos y problemas específicos planteados.

3.3. Escenario de estudio

El escenario es el entorno físico en el que se va a llevar a cabo la resolución de la investigación, y al presentar una revisión sistemática se tomará como escenario a los lugares en los que los investigadores realizaron sus análisis; llegando a extraer esa información de los artículos científicos obtenidos a nivel mundial en diversos idiomas como; inglés, español y portugués.

3.4. Participantes

Los participantes que presentan gran relevancia en el presente estudio son las fuentes como portales web y bibliotecas virtuales, de donde se extrajeron los artículos científicos; siendo estos: Scielo, Scopus, Dialnet, Sciencedirect o redalyc y los que comprenden la base de diversas informaciones para extraer datos bibliográficos acerca de las bacterias rizosféricas y la reducción de fertilizantes químicos.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada en la investigación sistemática se llama análisis de contenido; y es usada con la ficha de recolección de datos.

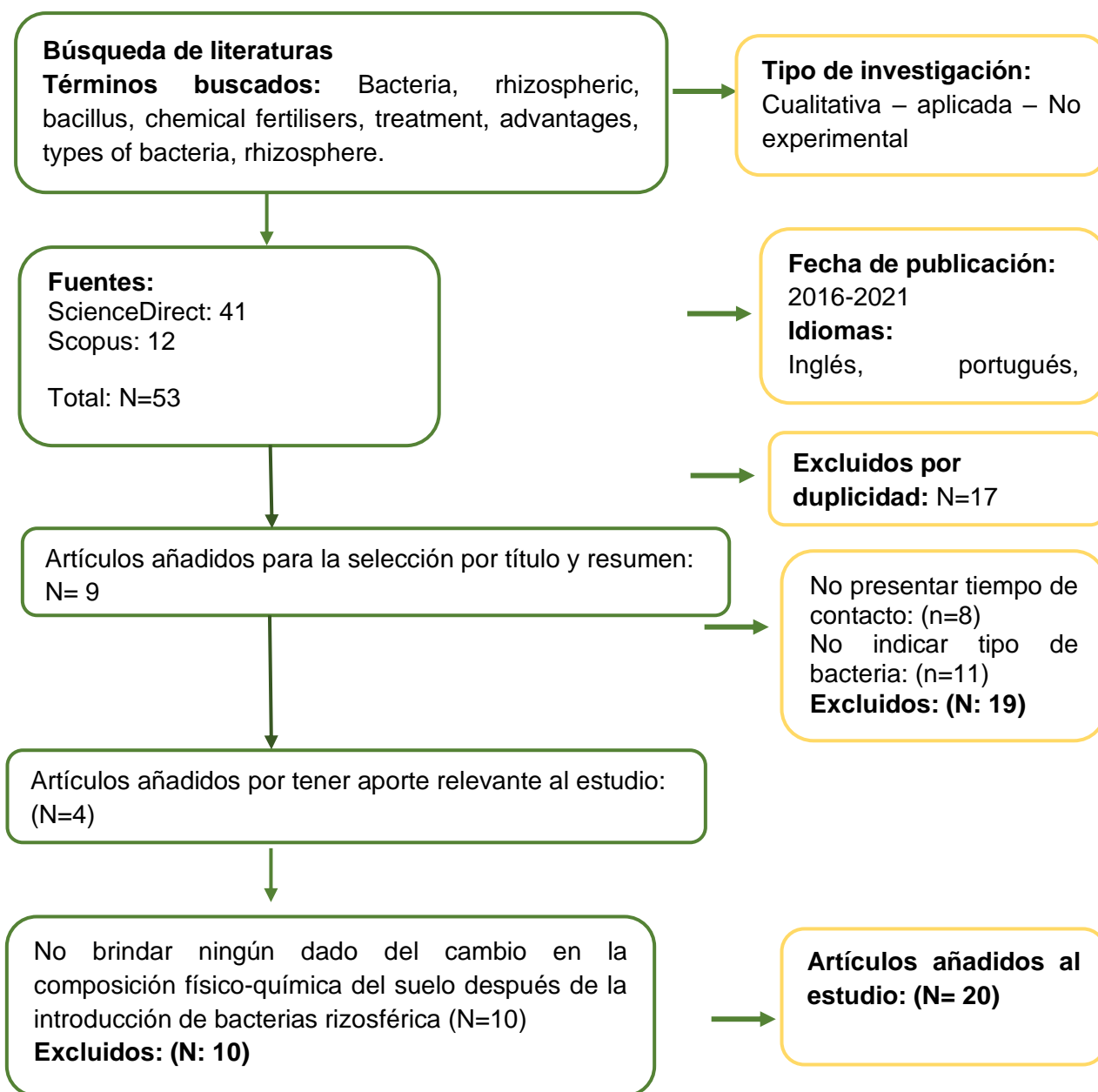
El análisis de contenido se enfoca en el contenido de la información; puesto que, toda investigación debe ser leída, analizada, interpretada y apropiada, acorde con el objetivo del estudio. Orellana y Sánchez, 2006, p. 207). Además, el análisis de contenido puede usarse como una guía para investigaciones futuras, sin embargo, la mayoría de los investigadores encontrarán que es necesario adaptar cada libro de códigos a cada estudio de investigación específico (Hernández et al., 2014, p. 415).

Además, para el análisis del contenido de la información utilizada se aplicó la ficha de recolección de datos, buscando lograr una revisión selectiva de la base bibliográfica enfocada al objetivo del estudio.

Las informaciones extraídas de los artículos científicos son: Nombre de investigación, ubicación, tipos de bacterias rizosféricas (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Stenotrophomonas*, *Serratia*), metodología, cambio de composición fisicoquímica del suelo (pH, color, concentración de elementos, entre otros), resultados y conclusiones.

3.6. Procedimiento

Gráfico N°1: Procedimiento de recolección de datos



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

Los criterios empleados en el presente estudio para cumplir con el rigor científico son los siguientes 4:

Credibilidad:

El criterio de credibilidad implica establecer que los resultados de la investigación cualitativa son creíbles desde la perspectiva del participante en la investigación; dado que, desde esta perspectiva, el propósito de la investigación cualitativa es describir o comprender los fenómenos de interés desde la mirada del participante, los participantes son los únicos que pueden juzgar legítimamente la credibilidad de los resultados (Noreña, Alcaraz, Rojas y Rebolledo, 2012, p.268). Este criterio se cumple plasmando la información de lo que obtuvo el autor original, y evitando los supuestos en la extracción de la información.

Transferibilidad:

La transferibilidad se refiere al grado en que los resultados de la investigación cualitativa pueden generalizarse o transferirse a otros contextos o entornos. Desde una perspectiva cualitativa, la transferibilidad es principalmente responsabilidad de quien realiza la generalización (Hernández et al., 2014, p.456). Y este es empleado en el uso de las técnicas y metodologías utilizadas en el presente estudio; lo que queda descrito y que podrá ser también aplicado por futuros investigadores.

Confiabilidad:

La visión cuantitativa tradicional de la confiabilidad se basa en el supuesto de replicabilidad o repetibilidad. Esencialmente, se trata de si obtendríamos los mismos resultados si pudiéramos observar lo mismo dos veces, pero en realidad no podemos medir lo mismo dos veces; por definición, si estamos midiendo dos veces, estamos midiendo dos cosas diferentes (Arias y Giraldo, 2011, p.503). Este criterio se observa mediante la comparación de resultados aplicando mismos métodos y obteniendo resultados iguales o parecidos.

Confirmabilidad:

La investigación cualitativa tiende a asumir que cada investigador aporta una perspectiva única al estudio; también la confirmabilidad se refiere al grado en que los resultados podrían ser confirmados o corroborados por otros (Arias y Giraldo, 2011, p.503). En esta investigación los procedimientos y las técnicas utilizadas quedan establecidas para que futuros investigadores o utilicen.

3.8. Método de análisis de información

El análisis de la información se realiza siguiente los objetivos planteados para definir de qué manera la introducción de bacterias rizosféricas mejora el suelo contaminado con fertilizantes químicos; buscando analizar las siguientes categorías: Tipos de bacterias rizosféricas, el cambio de composición fisicoquímica del suelo y el cambio positivo en la agricultura con las bacterias rizosféricas. Par lo cual se detalló las siguientes sub categorías:

- Pseudomonas
- Bacillus
- Arthrobacter
- Stenotrophomonas
- Serratia

- pH
- Concentración de elementos
- Minerales del suelo

- Mejora del crecimiento de las plantas
- Aumento de la producción de las plantas
- Fijación de N, P y K.
- Fitoestimulación

Lo que nos permitirá generar resultados centrados en la problemática del estudio y ser concisos con la información.

3.9. Aspectos éticos

Para asegurar la calidad del presente estudio se citó cada referencia de cuerdo a la norma ISO 690 y 690-2, se aplicó la normativa establecida en la resolución rectoral N° 0089-2019 y se pasó por el programa turnitin antiplageo; plasmando así la calidad del presente estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo N°1: Clasificar a las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) brindan múltiples beneficios en la agricultura al mejorar la productividad de los cultivos y el contenido de nutrientes y suprimir el crecimiento de patógenos, pero entre las bacterias rizosféricas existentes hay quienes presentan mejores resultados (Ramakrishna wusirika et al., 2019, p.1). Debido a ello se clasifica a las bacterias rizosféricas más usadas para la reducción de fertilizantes químicos; detallando los resultados en la tabla 4.

Tabla N°4: Tipos de bacterias rizosféricas más utilizadas

Referencia	Bacterias rizosféricas	Efectividad de la inoculación
Hou Shengpeng et al., 2018	<i>Rhodobacteraceae</i> y <i>Burkholderiales</i>	La comunidad desnitrificadora de tipo nir será más sensible al efecto de la rizosfera que la comunidad de tipo nirK. Aproximadamente el 31% de los desnitrificantes de tipo nir marcados con 13 serán más abundantes en la rizosfera que en el suelo a granel.
Cheng Hongyan et al., 2020	<i>Bacteroidetes</i> y <i>Proteobacteria</i>	Los filos predominantes fueron Proteobacteria (48,69%), Acidobacteria (23,11%), Bacteroidetes (20,67%), Actinobacterias (19,21%), Gemmatimonadetes (12,03%) y Cloroflexi (8,05%).
Bona Elisa et al., 2018	Hongos AM y <i>Pseudomonas</i> sp. 19Fv1T o <i>P. fluorescens</i> C7	El porcentaje arbuscular presente en los fragmentos de raíz micorrizados (a%) mostró que la colonización micorrícica fue muy activa (cerca del 100% de formación de arbusculos en todos los casos).
Di Salvo Lucina P. et al., 2018	<i>Azospirillum brasilense</i> o <i>Pseudomonas fluorescens</i>	La fertilización con nitrógeno y la inoculación de PGPR aumentaron el rendimiento de grano de maíz en un 80%.

Trabelsi Darine et al., 2017	Comamonadaceae, Bradyrhizobacteriaceae y Oxalobacteraceae	Estas bacterias pueden contribuir a la solubilización del fosfato mediante la producción de ácidos orgánicos y fitohormonas que estimulan el desarrollo de las raíces de las plantas y ayudan a la absorción de P aumentando el área de superficie de absorción.
Emami Somayeh et al., 2020	<i>Bacterias rizosféricas y endofíticas</i>	En la etapa de maduración, las macetas tratadas en consorcio (coinoculación con bacterias rizosféricas y endofíticas) exhibieron una altura de planta mejorada (hasta un 15.0% y 11.0%), peso seco de brotes (hasta 5.8% y 7.5%), peso seco de raíz (hasta 68% y 58%) y rendimiento de grano (hasta 58.0% y 42.0%), en los cultivares <i>Marvdasht</i> y <i>Roshan</i> respectivamente.
Zecchin Sarah et al., 2017	<i>Geobacteraceae</i>	Estos resultados indican que las bacterias influyen en la solubilización del arsénico en la rizosfera del arroz.
Leite Marcio Fa et al., 2021	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Paraburkholderia caribensis</i> IAC / BECa 88, <i>Kosakonia oryzae</i> IAC / BECa 90, <i>Kosakonia radicincitans</i> IAC / BECa 95, <i>Paraburkholderia tropica</i>	Los resultados muestran que estos microbios beneficiosos mejoraron la absorción de nutrientes de las plantas condicionada a un aporte reducido de nitrógeno.
Ochoa – Velasco et al., 2016	<i>Bacillus licheniformis</i>	La bacteria <i>B. licheniformis</i> tuvo un efecto neto positivo en la síntesis de flavonoides por la planta a una dosis de nitrógeno del 75%.
Lima Josué V. et al., 2021	<i>Bacillus subtilis</i>	La inoculación influyó positivamente en el volumen de la raíz con un aumento promedio de 46,7%, 28,4% de longitud total de raíz, 42,5% de superficie total, 43,7% de diámetro medio.
Paungfoo Lonhienne et al., 2020	<i>Bacillus spp.</i>	Mostramos que la adición de PGPR a suelos enmendados con fertilizantes nitrogenados 50% orgánicos y 50% convencionales aumentó el crecimiento de pasto kikuyu en un 76%, produciendo rendimientos similares a los

		obtenidos con fertilizantes nitrogenados 100% convencionales.
Moncada Alessandra et al., 2021	<i>Bacillus spp.</i>	El inóculo del sustrato con PGPR no tuvo ningún efecto significativo sobre el crecimiento de plantas de albahaca, pero mostró que sea eficaz en la disminución del contenido de nitrato de hojas de albahaca .
Zhang Junhua et al., 2021	<i>Azospirillum brasilense</i> y <i>Pseudomonas fluoresceins</i>	Los tratamientos mejoraron en gran medida el crecimiento de las plantas en un 90%.
Pereira S. et al., 2020	<i>Cupriavidus necator</i> 1C2 (B1) y <i>Pseudomonas fluorescens</i>	La bioinoculación con PGRP mitigó los efectos negativos sobre la biomasa de los brotes en un 89%.
Brunetti Cecilia et al., 2021	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	En general, los resultados experimentales muestran que la coinoculación con ACC desaminasa PGPR afecta positivamente la tolerancia al déficit hídrico, lo que confirma el potencial de aplicaciones biotecnológicas en áreas agrícolas con estrés hídrico.
Shirinbayan Shima et al., 2019	Cepas de <i>Azotobacter</i>	Las cepas eficientes de <i>Azotobacter</i> permitieron el crecimiento de maíz (<i>Zea mays</i>) en un 100% bajo estrés por sequía.
Zeffa Douglas M. et al., 2019	<i>Azospirillum brasilense</i>	La inoculación de semillas con <i>A. brasilense</i> intensificó el crecimiento de las plantas, mejoró los rasgos bioquímicos y elevó la EUN bajo déficit de nitrógeno.
Ulrich Danielle Em et al., 2019	Cepas de <i>Azotobacter</i>	Las plantas inoculadas exhibieron una germinación consistentemente mayor (89%) que los controles y una germinación significativamente mayor que los controles cuatro días después de la siembra.
Pires Carlos et al., 2017	<i>Firmicutes</i> , <i>Proteobacteria</i> y <i>Actinobacteria</i>	Los géneros más representados en el Sitio 1 fueron <i>Bacillus</i> (41%) y <i>Pseudomonas</i> (27%), mientras que <i>Arthrobacter</i> (21%) y <i>Pseudomonas</i> (13%) y todos los aislamientos bacterianos mostraron tolerancia >80% a altas concentraciones de metales o metaloides.

Niu Xuguang et al., 2018	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	La inoculación con estas cepas estimuló la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas bajo estrés por sequía. <i>Pseudomonas fluorescens</i> mostró el nivel más alto de actividad productora de desaminasa ACC y EPS.
--------------------------	--------------------------------	---

Elaboración propia

De acuerdo a la comparación de diversas literaturas se tiene que un 90% de los autores aplican a los *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Actinobacteria* como bacteria rizosférica promotora del crecimiento vegetal.

Siendo ello demostrado por: Hou Shengpeng et al., 2018, Cheng Hongyan et al., 2020, Bona Elisa et al., 2018, Di Salvo Lucina P. et al., 2018, Emami Somayeh et al., 2020, Leite Marcio Fa et al., 2021, Ochoa – Velasco et al., 2016, Paungfoo Lonhienne et al., 2020, Moncada Alessandra et al., 2021, Zhang Jun hua et al., 2021, Pereira S. et al., 2020, Brunetti Cecilia et al., 2021, Ulrich Danielle Em et al., 2019, Pires Carlos et al., 2017 y Niu Xuguang et al., 2018.

Este resultado es corroborado por Zeffa Douglas M. et al., 2019 quien afirma que el desarrollo de cultivares con una eficiencia mejorada en el uso de nitrógeno (EUN) junto con la aplicación de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas se considera una de las principales estrategias para la reducción del uso de fertilizantes; aplicando en su estudio la bacteria rizosférica *Azospirillum brasilense* y la inoculación de semillas con la PGPR intensificó el crecimiento de las plantas, mejoró los rasgos bioquímicos y elevó la EUN bajo déficit de nitrógeno.

Así también las cepas de *Azotobacter* son las cepas más efectivas en términos de solubilización de fosfato y potasio, producción de *sideróforos* y crecimiento máximo en plantas bajo estrés por sequía en un 100%; e incrementó aumento del peso seco de los brotes en un 60%, altura de la planta, contenido de clorofila, concentración de nitrógeno, fósforo y hierro en comparación con el control. Esta afirmación es también apoyada por Pires Carlos et al., 2017 quien afirma *Bacillus* (41%) y *Pseudomonas* (27%), a comparación de *Arthrobacter* (21%) y *Pseudomonas* (13%) son los géneros de cepas bacterianas con mayor tolerancia de iones metálicos y son los más utilizados en procesos de biorremediación y/o fitorremediación.

Respaldando la afirmación anterior Niu Xuguang et al., (2018,p.1) señala en su estudio que *Pseudomonas fluorescens* mostrando el nivel más alto de actividad productora de desaminasa colonizando eficientemente el suelo adherido a las raíces, aumentando la humedad del suelo y mejorando la relación suelo adherido a la raíz / tejido de la raíz.

Así también, Rubin Rachel et al., (2017, p.2) en su estudio muestra que las plantas respondieron mucho a PGPR; en condiciones de buen riego, la masa de raíces aumentó en un 35%, la masa de brotes aumentó en un 28% y el rendimiento reproductivo aumentó en un 19%. En condiciones de sequía, el efecto fue aún mayor: la masa de raíces aumentó en un 43%, la masa de brotes aumentó en un 45% y el rendimiento reproductivo aumentó en un 40%.

Objetivo N°2: Determinar el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas.

La producción de exudados por las plantas puede causar algunos cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo, incluido el pH, el C, N total y los contenidos de P y K disponibles; debido a ello se resuelve el segundo objetivo: Determinar el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas.

Se sabe que las propiedades físicas y químicas del suelo afectan la composición general de la comunidad bacteriana y los cambios en la diversidad y la dinámica bacteriana en la rizosfera durante las etapas de desarrollo de las plantas son el resultado de diferencias en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo asociado a las raíces (Berg y Smalla, 2009).

Es así que, de acuerdo con Nasution Rizki et al., (2017, p.5) los resultados del PCA (Análisis de componentes principales) en su estudio mostraron las relaciones entre la diversidad bacteriana (H') y los parámetros del suelo. El pH del suelo en el suelo de la rizosfera estuvo en el rango de 4.8 a 5.4 y fue más bajo que en el suelo a granel (5.9) y los valores de N en el suelo de la rizosfera estuvieron en el rango de 0,16 a 0,29%.

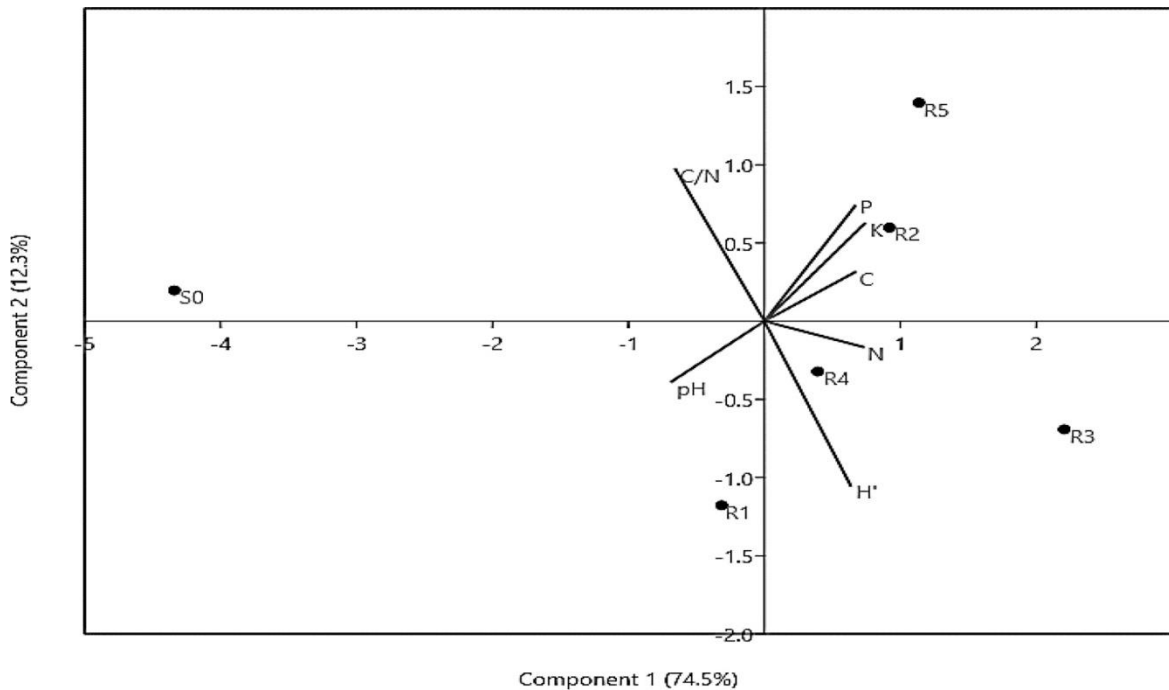


Figura N°4: Correlación estadística entre la composición del suelo (pH, C, N, P, K, C / N) y el índice de diversidad (H ')

De acuerdo a la figura N°4 el nitrógeno y H ' se ubican en el mismo cuadrante, lo que indica una correlación significativa; además, con respecto al PCA, explicó que el contenido de N tuvo una correlación directa con la diversidad bacteriana (H '), mientras que la relación C: N tuvo una correlación inversa.

Estos hallazgos pueden sugerir que el contenido de N, como propiedad química del suelo, puede afectar significativamente el cambio en la diversidad bacteriana en la rizosfera durante el crecimiento (Tangapo Agustina M. et al., 2018, p.1).

De acuerdo con Solihin Muhammad A. et al., (2017, p.3) el menor contenido de N del suelo presenta la mayor diversidad bacteriana. Así también Reinhold Hurek B. et al., (2016, p.4) afirma que la acumulación de N puede provocar una disminución de la diversidad microbiana por la expansión de especies nitrófilas y la exclusión competitiva de otras. Además, el aumento de N puede inducir acidificación del suelo, ejerciendo efectos deletéreos sobre el crecimiento microbiano.

Zeffa Douglas M. et al., 2019 señala también en su estudio que la inoculación de bacterias rizosféricas en las semillas con *A. brasilense* intensificó el crecimiento de las plantas, mejoró los rasgos bioquímicos y elevó el bajo déficit de nitrógeno. Adicionando Emami Somayeh et al., 2020, indica que se sabe que las bacterias

rizosféricas aumentan la eficiencia del fósforo (PE) de la planta en suelos deficientes en fósforo, presentando en su estudio que los aislados solubilizaron significativamente el fósforo del fosfato tricálcico y produjeron ácido indol-3-acético (IAA) en condiciones in vitro, donde la inoculación con aislado rizosférico aumentó el índice de eficiencia del fósforo (PE) en un 29,5% y un 18,7% en los cultivos.

Otros estudios como Etesami H. et al., (2015, p.1) y Solihin Muhammad A. et al., (2017, p.2) sugirieron que la textura y el pH del suelo son parámetros que podrían afectar la riqueza y diversidad de las comunidades bacterianas en el suelo.

Objetivo N°3: Analizar las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura.

Tabla N°5: Ventajas de introducción de bacterias rizosféricas

<i>Inoculación de bacterias rizosféricas</i>	<i>Planta</i>	<i>Ventajas</i>
<i>Rhizobium</i>	Soja, frijol francés, lentejas, garbanzos, alfalfa, frijol, maní	Aumento de la estimulación y función de los nódulos, el número total y el peso de los nódulos, la diferenciación de las células epidérmicas en los pelos radiculares, el rendimiento de la planta y frutos, la superficie de la raíz, el rendimiento. Emami Somayeh et al., 2020.
<i>Bacillus polymyxa</i>	Sorgo	Aumento de la absorción de N y P, grano y materia seca. Ochoa – Velasco et al., 2016, Lima Josué V. et al., 2021, Paungfoo Lonhienne et al., 2020, Moncada Alessandra et al., 2021.
<i>Agrobacterium radiobacter</i> o <i>Arthrobacter mysoreus</i> , <i>Rhodobacteraceae</i>	Cebada	Aumento del rendimiento de grano, fijación de N ₂ , acumulación de N en la planta. Hou Shengpeng et al., 2018.
<i>Azotobacter chroococcum</i> o <i>Streptomyces mutabilis</i>	Trigo, caña de azúcar	Aumento del crecimiento de las plantas, ácido indol acético, P, Mg, N y azúcares solubles totales en los brotes, contenido de N del suelo. Shirinbayan Shima et al., 2019, Ulrich Danielle Em et al., 2019.
<i>Hongos micorrízicos</i>	Sorgo, trigo, yute, fresa	Aumento del peso seco de raíces y brotes, rendimiento de grano y paja, infección por micorrizas, contenido de P y absorción de N,

Inoculación de bacterias rizosféricas	Planta	Ventajas
Bacteroidetes y Proteobacteria		Zn, Cu y Fe. Zeffa Douglas M. et al., 2019. Cheng Hongyan et al., 2020, Pires Carlos et al., 2017.
Pseudomonas sp	No indica	Bona Elisa et al., 2018, Di Salvo Lucina P. et al., 2018, Leite Marcio Fa et al., 2021, Zhang Jun hua et al., 2021, Pereira S. et al., 2020, Brunetti Cecilia et al., 2021, Niu Xuguang et al., 2018.

Elaboración propia

Debido a que no siempre se dispone de plantas apropiadas para la colonización, las PGPB Gram-negativas (bacterias no formadoras de esporas) han desarrollado mecanismos que les permiten sobrevivir en ausencia de un huésped (Alipour Aliyeh et al., 2021, p.6). Las células pueden formar quistes y flóculos (grandes agregados visibles) que las protegen de la desecación, producen melanina que bloquea la irradiación ultravioleta y reducen el metabolismo celular al mínimo necesario para la supervivencia (Mehmood Tahir et al., 2021, p.3).

Además, en épocas de abundancia, muchas PGPB almacenan grandes cantidades de poli- β -hidroxibutirato, que pueden mantenerlas durante períodos prolongados de escasez de nutrientes (Mishra Priya et al., 2021, p.2). Es el caso de Di Salvo Lucina P. et al., 2018, Leite Marcio Fa et al., 2021, Zhang Jun hua et al., 2021, Brunetti Cecilia et al., 2021 y Niu Xuguang et al., 2018.

En su investigación Vázquez Analía et al., 82021, p.2) señala PGPB como las especies de *Azospirillum* pueden mejorar la biorremediación de las aguas residuales por las microalgas al aumentar la proliferación y el metabolismo de las microalgas, lo que permite que las microalgas limpien el agua mejor que cuando se usan solas.

Así también, entre las ventajas de la introducción de bacterias rizosféricas en la agricultura se tiene la tabla

Tabla N°6: Cambios en la agricultura por introducción de bacterias rizosféricas

Especies bacterianas	Ventajas
<i>Azospirillum</i>	Ayuda a las microalgas <i>Chlorella spp.</i> para limpiar aguas residuales
<i>Azospirillum</i> + cianobacterias <i>Microcoleus</i>	Mejorar la reforestación de plantas de manglar
<i>Azospirillum</i> + <i>hongos</i> <i>micorrízicos</i>	Mejorar el establecimiento de plántulas y promover el crecimiento de cactus para reducir la erosión del suelo y la contaminación por polvo.
<i>Azospirillum</i>, <i>Bacillus</i> y <i>Vibrio</i>	Incrementar el crecimiento de plantas de semillas oleaginosas silvestres destinadas a la domesticación.
<i>Kluyvera</i>	Reducir la toxicidad del níquel en suelos contaminados, lo que permite el crecimiento de las plantas.
<i>Bacillus</i>, <i>Pseudomonas</i> y <i>Frankia</i>	Mejorar la germinación y aumentar el crecimiento de los árboles forestales.

Fuente: Bending G. 2017

V. CONCLUSIONES

- Las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos son los *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Actinobacteria* en un 90%, ya que en especial estas toleran un alto nivel de toxicidad y estrés bajo los fertilizantes químicos.
- El cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas presenta una correlación entre la composición del suelo en el pH, C, N, P, K, C / N y el índice de diversidad del hidrógeno; ya que, estas presentan una correlación directa con la diversidad bacteriana que se genera por la introducción de bacterias rizosféricas.
- Las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura son el crecimiento de las plantas, generando la estimulación y un aumento en el rendimiento de granos, brotes, plantas, crecimiento de raíces y adsorción de micronutrientes.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios prácticos para demostrar el estrés abiótico en las plantas sintetizando cuantitativamente los efectos de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR).
- Realizar prácticas en la que se realice una mayor investigación donde se comprenda la fitoestimulación en diversas condiciones ambientales y diversos tipos de cultivos.
- Se realizar estudios prácticos poniendo en estudio diferentes cepas bacterianas para encontrar que tipo de bacteria se puede aplicar y controlar en diferentes escenarios.

REFERENCIAS

1. ABDEL-HAMID, Marwa Salah, et al. Biogenic and characterizations of new silver nanoparticles stabilized with indole acetic acid derived from *Azospirillum brasilense* MMGH-SADAT1, their bioactivity, and histopathological assessment in rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 222, p. 112521. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112521>
2. ADEDEJI, Atilade Adedayo; HÄGGBLÖM, Max M.; BABALOLA, Olubukola Oluranti. Sustainable agriculture in Africa: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to the rescue. *Scientific African*, 2020, vol. 9, p. e00492. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00492>
3. ALIPOUR, Aliyeh, et al. Mycorrhizal fungi and growth-promoting bacteria improves fennel essential oil yield under water stress. *Industrial Crops and Products*, 2021, vol. 170, p. 113792. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113792>
4. ALTIERI, Miguel A.; NICHOLLS, Clara I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 2017, vol. 140, no 1, p. 33-45. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>
5. ASHOK, Vaishali, et al. Phycoremediation of wastewater using algal-bacterial photobioreactor: Effect of nutrient load and light intensity. *Bioresource Technology Reports*, 2019, vol. 7, p. 100205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100205>
6. Bending, G. D. (2017). The Rhizosphere and Its Microorganisms. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 347–351. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00165-9>
7. BERNINGER, Teresa, et al. Maintenance and assessment of cell viability in formulation of non-sporulating bacterial inoculants. *Microbial biotechnology*, 2018, vol. 11, no 2, p. 277-301. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12880>
8. BERNINGER, T.; MITTER, B.; PREININGER, C. Zeolite-based, dry formulations for conservation and practical application of *Paraburkholderia* phytofirmans Ps JN.

- Journal of applied microbiology, 2017, vol. 122, no 4, p. 974-986. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jam.13360>
9. BHATTACHARYYA, Chandrima, et al. Biofertilizers as substitute to commercial agrochemicals. En *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation*. Butterworth-Heinemann, 2020. p. 263-290. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00011-8>
 10. BHATTACHARYYA, Chandrima, et al. Genome-guided insights into the plant growth promotion capabilities of the physiologically versatile *Bacillus aryabhatai* strain AB211. *Frontiers in microbiology*, 2017, vol. 8, p. 411. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00411>
 11. CHANDRIMA BHATTACHARYYA, Evaluation of plant growth promotion properties and induction of antioxidative defense mechanism by tea rhizobacteria of Darjeeling, India 10, Article number: 15536 (2020) Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-72439-z>
 12. BONA, Elisa, et al. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. *Scientia Horticulturae*, 2018, vol. 234, p. 160-165. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.026>
 13. BRUNETTI, Cecilia, et al. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria strains producing ACC deaminase on photosynthesis, isoprene emission, ethylene formation and growth of *Mucuna pruriens* (L.) DC. in response to water deficit. *Journal of Biotechnology*, 2021, vol. 331, p. 53-62. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.03.008>
 14. CALICIOGLU, Ozgul, et al. The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no 1, p. 222. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11010222>
 15. CARVALHO, Fernando P. Pesticides, environment, and food safety. *Food and energy security*, 2017, vol. 6, no 2, p. 48-60. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
 16. CHEN, Chenglong, et al. Spatial and temporal variations in non-point source losses of nitrogen and phosphorus in a small agricultural catchment in the Three

- Gorges Region. Environmental monitoring and assessment, 2016, vol. 188, no 4, p. 257. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5260-0>
17. CHENG, Hongyan, et al. Influence of phosphorus fertilization patterns on the bacterial community in upland farmland. *Industrial Crops and Products*, 2020, vol. 155, p. 112761. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112761>
18. CYPROWSKI, Marcin, et al. Anaerobic bacteria in wastewater treatment plant. *International archives of occupational and environmental health*, 2018, vol. 91, no 5, p. 571-579. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1307-6>
19. Dalefield, R. (2017). Household Foods and Products. *Veterinary Toxicology for Australia and New Zealand*, 203–232. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-420227-6.00012-8>
20. DI SALVO, Luciana P., et al. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 2018, vol. 126, p. 113-120. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.010>
21. ELOUEAR, Zouheir, et al. Application of sheep manure and potassium fertilizer to contaminated soil and its effect on zinc, cadmium and lead accumulation by alfalfa plants. *Sustainable Environment Research*, 2016, vol. 26, no 3, p. 131-135. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2016.04.004>
22. EMAMI, Somayeh, et al. Consortium of endophyte and rhizosphere phosphate solubilizing bacteria improves phosphorous use efficiency in wheat cultivars in phosphorus deficient soils. *Rhizosphere*, 2020, vol. 14, p. 100196. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100196>
23. ETESAMI, Hassan; ALIKHANI, Hossein Ali; HOSSEINI, Hossein Mirseyed. Indole-3-acetic acid (IAA) production trait, a useful screening to select endophytic and rhizosphere competent bacteria for rice growth promoting agents. *MethodsX*, 2015, vol. 2, p. 72-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2015.02.008>
24. FURTAK, Karolina; GAJDA, Anna Maria. Activity and variety of soil microorganisms depending on the diversity of the soil tillage system. *Sustainability of agroecosystems*, 2018, vol. 45. Disponible en:

<https://books.google.es/books?id=PXeQDwAAQBAJ&lpg=PA45&ots=7Uq7mG3wdq&dq=Activity%20and%20Variety%20of%20Soil%20Microorganisms%20Depending%20on%20the%20Diversity%20of%20the%20Soil%20Tillage%20System&lr&hl=es&pg=PA45#v=onepage&q=Activity%20and%20Variety%20of%20Soil%20Microorganisms%20Depending%20on%20the%20Diversity%20of%20the%20Soil%20Tillage%20System&f=false>

25. GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Gabriela, et al. Influence of rhizobacteria in production and nutraceutical quality of tomato fruits under greenhouse conditions. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2018, vol. 9, no 2, p. 367-379. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1078>
26. GOUDA, Sushanto, et al. Endophytes: a treasure house of bioactive compounds of medicinal importance. *Frontiers in microbiology*, 2016, vol. 7, p. 1538. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01538>
27. HASSAN, Nabil M., et al. Assessment of natural radioactivity in fertilizers and phosphate ores in Egypt. *Journal of Taibah University for Science*, 2016, vol. 10, no 2, p. 296-306. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.08.009>
28. HERNÁNDEZ, Roberto., Fernández, C., y Baptista, P. *Metodología de la investigación* (6. ° ed.). México: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, 2014. 634 pp.
29. HOU, Shengpeng, et al. Structure and assembly cues for rhizospheric nirK-and nirS-type denitrifier communities in long-term fertilized soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, vol. 119, p. 32-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.007>
30. Jalota, S. K., Vashisht, B. B., Sharma, S., & Kaur, S. (2018). Adaptation and Mitigation. *Understanding Climate Change Impacts on Crop Productivity and Water Balance*, 183–216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809520-1.00005-7>
31. JALOTA, S. K.; VASHISHT, B. B. Adapting cropping systems to future climate change scenario in three agro-climatic zones of Punjab, India. *Journal of Agrometeorology*, 2016, vol. 18, no 1, p. 48.

32. JAYARAJ, Ravindran; MEGHA, Pankajshan; SREEDEV, Puthur. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary toxicology*, 2016, vol. 9, no 3-4, p. 90. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/intox-2016-0012>
33. EMILYRICCI, Growth promotion of greenhouse tomatoes with *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp. biofilms and planktonic cells *Applied Soil Ecology* Vol. 138, June 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.009>
34. JIANG, Si-Qi, et al. High-throughput absolute quantification sequencing reveals the effect of different fertilizer applications on bacterial community in a tomato cultivated coastal saline soil. *Science of the total environment*, 2019, vol. 687, p. 601-609. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.105>
35. KHAN, M. N., et al. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 2018, vol. 5, p. 225-240. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09888-8>
36. KANG, Du, et al. Removal of nutrients and pharmaceuticals and personal care products from wastewater using periphyton photobioreactors. *Bioresource technology*, 2018, vol. 248, p. 113-119. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801077-8.00011-9>
37. KAUSHAL, Manoj. Climatic resilient agriculture for root, tuber, and banana crops using plant growth-promoting microbes. En *Climate Change and Agricultural Ecosystems*. Woodhead Publishing, 2019. p. 307-329. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00012-8>
38. KUMAR, Adarsh, et al. Biochar and flyash inoculated with plant growth promoting rhizobacteria act as potential biofertilizer for luxuriant growth and yield of tomato plant. *Journal of environmental management*, 2017, vol. 190, p. 20-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.060>
39. KUMAR, Ravi Shankar, et al. Biodegradation of environmental pollutant through pathways engineering and genetically modified organisms approaches. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, 2020, p. 137. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=VovyDwAAQBAJ&lpg=PA137&ots=6vyBZbN1>

[m7&dq=Biodegradation%20of%20environmental%20pollutant%20through%20p
athways%20engineering%20and%20genetically%20modified%20organisms%20
approaches&lr&hl=es&pg=PA137#v=onepage&q=Biodegradation%20of%20envi
ronmental%20pollutant%20through%20pathways%20engineering%20and%20g
enetically%20modified%20organisms%20approaches&f=true](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.023)

40. KUMAR, Vaneet, et al. Biodegradable hydrogels of tragacanth gum polysaccharide to improve water retention capacity of soil and environment-friendly controlled release of agrochemicals. *International journal of biological macromolecules*, 2019, vol. 132, p. 1252-1261. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.023>
41. LEITE, Marcio FA, et al. Rearranging the sugarcane holobiont via plant growth-promoting bacteria and nitrogen input. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 149493. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149493>
42. LIANG, Hebin, et al. Characterizing the intra-vineyard variation of soil bacterial and fungal communities. *Frontiers in microbiology*, 2019, vol. 10, p. 1239. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01239>
43. LIAO, Hao, et al. Long-term chemical fertilization-driving changes in soil autotrophic microbial community depresses soil CO₂ fixation in a Mollisol. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 748, p. 141317. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141317>
44. LIMA, Josué Valente, et al. Rhizobacteria modify root architecture and improve nutrient uptake in oil palm seedlings despite reduced fertilizer. *Rhizosphere*, 2021, p. 100420. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100420>
45. MAHMOUD, ABDEL WAHAB M. y col. Evaluación económica de fertilizantes nano y orgánicos como fuente alternativa a los fertilizantes químicos sobre el rendimiento y los componentes de la planta *Carum carvi* L. *Agricultura (Poľnohospodárstvo)*, 2017, vol. 63, no 1, pág. 33-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/agri-2017-0004>
46. MAHROUS, Nahed N., et al. Changes in microbial community structure and increased metal bioavailability in a metal-contaminated soil and in the rhizosphere

- of corn (*Zea mays*). *Rhizosphere*, 2019, vol. 11, p. 100169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100169>
47. MAHANTY, Trishna, et al. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 4, p. 3315-3335. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>
48. René Pérez-Pérez, Isolation and characterization of *Stenotrophomonas* associated to maize (*Zea Mays* L.) rhizosphere Volumen 201, 30 de marzo de 2016, Páginas 346-354, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.020>
49. René Pérez-Pérez, Isolation and characterization of *Stenotrophomonas* associated to maize (*Zea Mays* L.) rhizosphere cultrop vol.41 no.2 La Habana abr.-jun. 2020 Epub 05-Abr-2020 Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200003
50. MEHMOOD, Tahir, et al. *Azospirillum lipoferum* strain AL-3 reduces early blight disease of potato and enhance yield. *Crop Protection*, 2021, vol. 139, p. 105349. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105349>
51. MISHRA, Priya; MISHRA, Jitendra; ARORA, Naveen Kumar. Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants-recent developments and prospects: A review. *Microbiological Research*, 2021, p. 126861. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861>
52. MOELLER, Kurt, et al. Improved phosphorus recycling in organic farming: navigating between constraints. *Advances in agronomy*, 2018, vol. 147, p. 159-237. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.10.004>
53. MOHAMED, Yousry, et al. Improving growth, productivity, and chemical composition of *Trachyspermum ammi* L. by using organic and chemical fertilization in the presence of boron. *Industrial Crops and Products*, 2021, vol. 169, p. 113637. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113637>
54. MONCADA, Alessandra; MICELI, Alessandro; VETRANO, Filippo. Use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and organic fertilization for soilless

- cultivation of basil. *Scientia Horticulturae*, 2021, vol. 275, p. 109733. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109733>
55. MOREAU, Delphine, et al. A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. *Functional Ecology*, 2019, vol. 33, no 4, p. 540-552. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13303>
56. NAN, Z. H. A. O., et al. Chemical and spectroscopic characteristics of humic acid from a clay loam soil in Ontario after 52 years of consistent fertilization and crop rotation. *Pedosphere*, 2021, vol. 31, no 1, p. 204-213. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60019-4)
57. NASIRI, Yousef. Crop productivity and chemical compositions of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil under different cropping patterns and fertilization. *Industrial Crops and Products*, 2021, vol. 171, p. 113920. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113920>
58. MADRIGAL PEDRAZA, María del Rocío, Efecto del aluminio sobre el maíz (*Zea mays*) su asociación micorrizica arbuscular y las comunidades microbianas del suelo Fecha: 2012-08, Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1683
59. ANTONIO VELASCO-Jiménez, Rhizospheric bacteria with potential benefits in agricultura, *Terra Latinoam* vol.38 no.2 Chapingo abr./jun. 2020 Epub 20-Jun-2020 Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
60. NASUTION, Rizki A., et al. Comparison of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) diversity and dynamics during growth of Cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas* L var. Rancing) in Cilembu and Jatinangor Site, Indonesia. *J. Pure Appl. Microbiol*, 2017, vol. 11, no 2, p. 837-845. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22207/JPAM.11.2.23>
61. NIU, Xuguang, et al. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress. *Frontiers in microbiology*, 2018, vol. 8, p. 2580. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02580>

62. OCHOA-VELASCO, Carlos Enrique, et al. Effect of nitrogen fertilization and *Bacillus licheniformis* biofertilizer addition on the antioxidants compounds and antioxidant activity of greenhouse cultivated tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. Sheva). *Scientia Horticulturae*, 2016, vol. 201, p. 338-345. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.015>
63. OMOTAYO, Oluwadara Pelumi; BABALOLA, Olubukola Oluranti. Resident rhizosphere microbiome's ecological dynamics and conservation: Towards achieving the envisioned Sustainable Development Goals, a review. *International Soil and Water Conservation Research*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.08.002>
64. ORELLANA, D., Sánchez, M. Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa. *Revista de Investigación Educativa*, Vol. 24, n.º 1, 2006. pp. 205-222.
65. PADHYE, Lokesh P., et al. Influence of surface chemistry of carbon materials on their interactions with inorganic nitrogen contaminants in soil and water. *Chemosphere*, 2017, vol. 184, p. 532-547. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.021>
66. PAUNGFOO-LONHIENNE, Chanyarat; WATANAROJANAPORN, Nantida; JAEMSAENG, Ratchaniwan. Plant growth promoting rhizobacteria enhance the efficiency of the combination of organic and chemical fertilisers in sugarcane. *Open Journal of Ecology*, 2020, vol. 10, no 7, p. 440-444. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/oje.2020.107028>
67. PAUNGFOO-LONHIENNE, Chanyarat, et al. Plant growth promoting rhizobacteria increase the efficiency of fertilisers while reducing nitrogen loss. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 233, p. 337-341. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.052>
68. PAUNGFOO-LONHIENNE, Chanyarat; WATANAROJANAPORN, Nantida; JAEMSAENG, Ratchaniwan. Plant growth promoting rhizobacteria enhance the efficiency of the combination of organic and chemical fertilisers in sugarcane. *Open Journal of Ecology*, 2020, vol. 10, no 7, p. 440-444. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.052>

69. PEREIRA, S. I. A., et al. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Heliyon*, 2020, vol. 6, no 10, p. e05106. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05106>
70. PIRES, Carlos, et al. Metal (loid)-contaminated soils as a source of culturable heterotrophic aerobic bacteria for remediation applications. *Geomicrobiology Journal*, 2017, vol. 34, no 9, p. 760-768. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01490451.2016.1261968>
71. RAMAKRISHNA, Wusirika; YADAV, Radheshyam; LI, Kefeng. Plant growth promoting bacteria in agriculture: two sides of a coin. *Applied Soil Ecology*, 2019, vol. 138, p. 10-18. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.019>
72. REINHOLD-HUREK, Barbara, et al. Roots shaping their microbiome: global hotspots for microbial activity. *Annual review of phytopathology*, 2016, vol. 53, p. 403-424. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102342>
73. ROJAS-DOWNING, M. Melissa, et al. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 2017, vol. 16, p. 145-163. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
74. RUBIN, Rachel L.; VAN GROENIGEN, Kees Jan; HUNGATE, Bruce A. Plant growth promoting rhizobacteria are more effective under drought: a meta-analysis. *Plant and Soil*, 2017, vol. 416, no 1, p. 309-323. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3199-8>
75. SCHMIDT, Jennifer E., et al. Effects of agricultural management on rhizosphere microbial structure and function in processing tomato plants. *Applied and environmental microbiology*, 2019, vol. 85, no 16, p. e01064-19. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/AEM.01064-19>
76. SCHMIDT, Jennifer E., et al. Correction for Schmidt et al., "Effects of Agricultural Management on Rhizosphere Microbial Structure and Function in Processing Tomato Plants". *Applied and Environmental Microbiology*, 2020, vol. 86, no 16, p. e01279-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/AEM.01064-19>

77. SHARIFZADEH, Mohammad Sharif, et al. Farmers' criteria for pesticide selection and use in the pest control process. *Agriculture*, 2018, vol. 8, no 2, p. 24. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agriculture8020024>
78. SHIRINBAYAN, Shima; KHOSRAVI, Houshang; MALAKOUTI, Mohammad Jafar. Alleviation of drought stress in maize (*Zea mays*) by inoculation with *Azotobacter* strains isolated from semi-arid regions. *Applied Soil Ecology*, 2019, vol. 133, p. 138-145. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.015>
79. SINGH, Rishikesh, et al. Exploring soil responses to various organic amendments under dry tropical agroecosystems. En *Climate Change and Soil Interactions*. Elsevier, 2020. p. 583-611. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00021-7>
80. SINGH, Upma; CHOUDHARY, Anil K.; SHARMA, Shilpi. Comparative performance of conservation agriculture vis-a-vis organic and conventional farming, in enhancing plant attributes and rhizospheric bacterial diversity in *Cajanus cajan*: A field study. *European Journal of Soil Biology*, 2020, vol. 99, p. 103197. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103197>
81. SOLIHIN, Muhammad Amir, et al. Karakteristik Lahan dan Kualitas Kemanisan Ubi Jalar Cilembu. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 2017, vol. 7, no 3, p. 251-259. Disponible en: <https://doi.org/10.29244/jpsl.7.3.251-259>
82. SOLIHIN, Muhammad Amir, et al. Discriminating land characteristics of yield and total sugar content classes of cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 2017, vol. 40, no 1, p. 15-24. Disponible en: <http://doi.org/10.17503/agrivita.v40i1.1148>
83. SONG, Guixue, et al. Characterization of transformations of maize residues into soil organic matter. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 579, p. 1843-1854. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.169>
84. SRIVASTAVA, Shubhi; CHAUDHURI, Madhubanti; PANDEY, Vimal Chandra. Endophytes—the hidden world for agriculture, ecosystem, and environmental sustainability. En *Bioremediation of pollutants*. Elsevier, 2020. p. 145-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819025-8.00006-5>

85. SRIVASTAVA, Shubhi; SINGH, Manvi; PAUL, Amal K. Arsenic bioremediation and bioactive potential of endophytic bacterium *Bacillus pumilus* isolated from *Pteris vittata* L. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED BIOTECHNOLOGY AND RESEARCH, 2016, vol. 7, no 1, p. 77-92.
86. TANGAPO, Agustina Monalisa; ASTUTI, Dea Indriani; ADITIAWATI, Pingkan. Dynamics and diversity of cultivable rhizospheric and endophytic bacteria during the growth stages of cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas* L. var. cilembu). Agriculture and Natural Resources, 2018, vol. 52, no 4, p. 309-316. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.10.003>
87. LUCAS MARTÍNEZ REYES, Biofertilization and chemical fertilization of corn (*Zea mays* L.) ISSN 1390-8928, ISSN-e 2477-8850, Vol. 5, N^o. 1, 2018, Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6724755>
88. TRABELSI, Darine, et al. Fertilization of *Phaseolus vulgaris* with the Tunisian rock phosphate affects richness and structure of rhizosphere bacterial communities. Applied Soil Ecology, 2017, vol. 114, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.11.014>
89. ULRICH, Danielle EM, et al. Plant-microbe interactions before drought influence plant physiological responses to subsequent severe drought. Scientific reports, 2019, vol. 9, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36971-3>
90. VÁZQUEZ, Analía, et al. *Azospirillum brasilense* Az39 restricts cadmium entrance into wheat plants and mitigates cadmium stress. Plant Science, 2021, p. 111056. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111056>
91. VELAND, Siri, et al. Narrative matters for sustainability: the transformative role of storytelling in realizing 1.5 C futures. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2018, vol. 31, p. 41-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.12.005>
92. WANG, Junli, et al. Combined ozonation and aquatic macrophyte (*Vallisneria spiralis*) treatment of piggy effluent: Water matrix and antioxidant responses. Ecological Engineering, 2017, vol. 102, p. 39-45. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.01.033>

93. WANG, Quan, et al. Sustainable composting and its environmental implications. En Sustainable resource recovery and zero waste approaches. Elsevier, 2019. p. 115-132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00009-8>
94. WEI, Muhong, et al. High-Throughput Absolute Quantification Sequencing Revealed Osteoporosis-Related Gut Microbiota Alterations in Han Chinese Elderly. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 2021, vol. 11, p. 381. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.630372>
95. WU, Meng, et al. Long-term fertilization decreases chemical composition variation of soil humic substance across geographic distances in subtropical China. *Soil and Tillage Research*, 2019, vol. 186, p. 105-111. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.014>
96. XIAO, Xun, et al. Variation in abundance, diversity, and composition of nirK and nirS containing denitrifying bacterial communities in a red paddy soil as affected by combined organic-chemical fertilization. *Applied Soil Ecology*, 2021, vol. 166, p. 104001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104001>
97. YADAV, Monika, et al. Rapid selective optical detection of sulfur containing agrochemicals and amino acid by functionalized cyclodextrin polymer derived gold nanoprobe. *Microchemical Journal*, 2021, vol. 169, p. 106630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106630>
98. ZECCHIN, Sarah, et al. Rhizospheric iron and arsenic bacteria affected by water regime: Implications for metalloid uptake by rice. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, vol. 106, p. 129-137. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.021>
99. SUBODH KUMARMAITI, Chapter 24 - Plant–soil interactions as a restoration tool, Ecological Restoration Laboratory, Department of Environmental Science & Engineering, Indian Institute of Technology (ISM), Dhanbad, India Available 13 March 2020. Disponible En: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00024-2>

100. ZEFFA, Douglas Mariani, et al. Azospirillum brasilense promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. PLoS One, 2019, vol. 14, no 4, p. e0215332. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>
101. ZHANG, Yingnan, et al. The hidden mechanism of chemical fertiliser overuse in rural China. Habitat International, 2020, vol. 102, p. 102210. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102210>
102. ZHANG, Jun-hua, et al. Increased ammonification, nitrogenase, soil respiration and microbial biomass N in the rhizosphere of rice plants inoculated with rhizobacteria. Journal of Integrative Agriculture, 2021, vol. 20, no 10, p. 2781-2796. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63454-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63454-2)
103. ZHENG, Man Man, et al. Changes of acid and alkaline phosphatase activities in long-term chemical fertilization are driven by the similar soil properties and associated microbial community composition in acidic soil. European Journal of Soil Biology, 2021, vol. 104, p. 103312. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103312>

ANEXOS

ANEXOS N° 1:

Matriz de categorización apriorística

Objetivo específico	Problema específico	Categoría	Sub categoría	Criterio 1	Criterio 2
Clasificar a las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos.	¿Cuáles son las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos?	Tipos de bacterias rizosféricas más usadas (Tahir et al., 2017, p.3).	-Pseudomonas -Bacillus -Arthrobacter -Stenotrophomonas -Serratia (Gouda et al., 2018, p.2)	De acuerdo a la eficiencia de su aplicación	De acuerdo a la cantidad de veces empleado
Determinar el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas.	¿Cuál el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas?	Cambio de composición fisicoquímica del suelo (Bhattacharyya Chandrima et al., 2017, p.1)	-pH -Concentración de elementos -Minerales del suelo (Carvalho Fernando P., 2017, p.1).	De acuerdo al químico presente en el suelo.	De acuerdo al tiempo de contacto del suelo con la introducción de bacterias rizosféricas.
Analizar las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura.	¿Cuáles son las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura?	Cambios positivos en la agricultura con las bacterias rizosféricas (Srivastava S. et al., 2016, p.1)	- Mejora del crecimiento de las plantas -Aumento de la producción de las plantas -Fijación de N, P y K. -Fitoestimulación (Moeller Kurt et al., 2018, p.3)	De acuerdo a la bacteria empleada	De acuerdo al tiempo de tratamiento

Elaboración propia

TÍTULO:

DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S) QUIROZ RUDAS MARCO AURELIO		
PÁGINAS UTILIZADAS : 51	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2022	LUGAR DE PUBLICACIÓN Repositorio Institucional
TIPO DE INVESTIGACIÓN: Introducción de bacterias rizosféricas en la agricultura para la reducción de fertilizantes químicos: Revisión sistemática		
CÓDIGO:	7002749717	
PALABRAS CLAVES :	Bacterias, rizosfera, bacilos, abonos químicos, tratamiento, ventajas, tipos de bacterias, rizosfera.	
TIPOS DE BACTERIAS RIZOSFÉRICAS MÁS USADAS:	Las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos son los Bacillus, Pseudomonas y Actinobacteria.	
CAMBIO DE COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO:	El cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas presenta una correlación entre la composición del suelo en el pH, C, N, P, K, C / N y el índice de diversidad del hidrógeno.	
CAMBIOS POSITIVOS EN LA AGRICULTURA CON LAS BACTERIAS RIZOSFÉRICAS:	Crecimiento de las plantas, generando la estimulación y un aumento en el rendimiento de granos, brotes, plantas, crecimiento de raíces y adsorción de micronutrientes	
RESULTADOS :	Se clasificó a las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos. Se determinó el cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas. Se analizaron las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura.	
CONCLUSIONES:	Las bacterias rizosféricas más estudiadas para la reducción de fertilizantes químicos son los Bacillus, Pseudomonas y Actinobacteria en un 90%, ya que en especial estas toleran un alto nivel de toxicidad y estrés bajo los fertilizantes químicos. El cambio en la composición físico-química del suelo después de la introducción de bacterias rizosféricas presenta una correlación entre la composición del suelo en el pH, C, N, P, K, C / N y el índice de diversidad del hidrógeno; ya que, estas presentan una correlación directa con la diversidad bacteriana que se genera por la introducción de bacterias rizosféricas. Las ventajas de introducir bacterias rizosféricas en la agricultura son el crecimiento de las plantas, generando la estimulación y un aumento en el rendimiento de granos, brotes, plantas, crecimiento de raíces y adsorción de micronutrientes.	

Elaboración propia