

**AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL
TEXTO COMPLETO**

Puerto Colombia, **23 de noviembre de 2023**

Señores

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS

Universidad del Atlántico

Cuidad

Asunto: Autorización Trabajo de Grado

Cordial saludo,

Yo, **DEIWER RODRÍGUEZ SANJUAN.**, identificado(a) con **C.C. No. 1048214243** de BARANOA, autor(a) del trabajo de grado titulado **ACTIVIDAD FOSFOSOLUBILIZADORA DE BACTERIAS ASOCIADAS AL SUELO Y SUS MECANISMOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA** presentado y aprobado en el año **2023** como requisito para optar al título Profesional de **BIOLOGO.**; autorizo al Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico para que, con fines académicos, la producción académica, literaria, intelectual de la Universidad del Atlántico sea divulgada a nivel nacional e internacional a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios del Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web institucional, en el Repositorio Digital y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad del Atlántico.
- Permitir consulta, reproducción y citación a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Esto de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Atentamente,



Firma

DEIWER RODRÍGUEZ SANJUAN.

C.C. No. 1048214243 de BARANOA

DECLARACIÓN DE AUSENCIA DE PLAGIO EN TRABAJO ACADÉMICO PARA GRADO

Este documento debe ser diligenciado de manera clara y completa, sin tachaduras o enmendaduras y las firmas consignadas deben corresponder al (los) autor (es) identificado en el mismo.

Puerto Colombia, **23 de noviembre de 2023**

Una vez obtenido el visto bueno del director del trabajo y los evaluadores, presento al **Departamento de Bibliotecas** el resultado académico de mi formación profesional o posgradual. Asimismo, declaro y entiendo lo siguiente:

- El trabajo académico es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, en consecuencia, la obra es de mi exclusiva autoría y detento la titularidad sobre la misma.
- Asumo total responsabilidad por el contenido del trabajo académico.
- Eximo a la Universidad del Atlántico, quien actúa como un tercero de buena fe, contra cualquier daño o perjuicio originado en la reclamación de los derechos de este documento, por parte de terceros.
- Las fuentes citadas han sido debidamente referenciadas en el mismo.
- El (los) autor (es) declara (n) que conoce (n) lo consignado en el trabajo académico debido a que contribuyeron en su elaboración y aprobaron esta versión adjunta.

Título del trabajo académico:	ACTIVIDAD FOSFOSOLUBILIZADORA DE BACTERIAS ASOCIADAS AL SUELO Y SUS MECANISMOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA
Programa académico:	BIOLOGÍA

Firma de Autor 1:							
Nombres y Apellidos:	DEIWER RODRÍGUEZ SANJUAN						
Documento de Identificación:	CC	X	CE		PA	Número:	1048214243
Nacionalidad:	COLOMBIANO				Lugar de residencia:	BARANOA	
Dirección de residencia:	CALLE 27B # 22 - 75						
Teléfono:					Celular:	3005938670	



FORMULARIO DESCRIPTIVO DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO	ACTIVIDAD FOSFOSOLUBILIZADORA DE BACTERIAS ASOCIADAS AL SUELO Y SUS MECANISMOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA
AUTOR(A) (ES)	DEIWER RODRÍGUEZ SANJUAN
DIRECTOR (A)	KARINA ISABEL CASTELLANO ROMERO
CO-DIRECTOR (A)	KARINA MARTINEZ PEREZ
JURADOS	JIM RODRÍGUEZ DIAZ, JOSE TORRES AVILA
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE	BIOLOGO.
PROGRAMA	BIOLOGÍA
PREGRADO / POSTGRADO	PREGRADO
FACULTAD	CIENCIAS BÁSICAS
SEDE INSTITUCIONAL	SEDE NORTE.
AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	2023
NÚMERO DE PÁGINAS	73 PAGINAS.
TIPO DE ILUSTRACIONES	DESCRIBIR TIPO DE ILUSTRACIONES: Diagrama Circular, tablas e ilustraciones de los mecanismos solubilización de fosfato
MATERIAL ANEXO (VÍDEO, AUDIO, MULTIMEDIA O PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA)	NO APLICA
PREMIO O RECONOCIMIENTO	NO APLICA



**ACTIVIDAD FOSFOSOLUBILIZADORA DE BACTERIAS ASOCIADAS AL SUELO Y
SUS MECANISMOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA**

DEIWER RODRÍGUEZ SANJUAN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGO

**PROGRAMA DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO
PUERTO COLOMBIA**

2023



**ACTIVIDAD FOSFOSOLUBILIZADORA DE BACTERIAS ASOCIADAS AL SUELO Y
SUS MECANISMOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA**

DEIWER RODRÍGUEZ SANJUAN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE BIÓLOGO

KARINA ISABEL CASTELLANO ROMERO

Ph.D en Ciencias Biológicas/Genética y Biotecnología

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

PUERTO COLOMBIA

2023

NOTA DE ACEPTACION

DIRECTOR(A)

JURADO(A)S

DEDICATORIA

A Dios que siempre me ha bendecido a pesar de las dificultades. A mi mamá Minevis Sanjuán por siempre estar a disposición de apoyarme y entregado todo Para que se cumpliera este sueño. A mis tíos Luisa Rodríguez, Diana Rodríguez y Yovany Rodríguez que ya no están conmigo, Pero en vida me apoyaron en mis momentos más difíciles durante la estancia en la universidad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme siempre salud y vida, además de brindarme las fuerzas para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mis padres, Germán Rodríguez Solano y Minevis Sanjuán Hurtado por apoyarme en todo momento durante la instancia en mi carrera e inculcarme la disciplina del estudio y hacerle ver la importancia de esta.

A mi esposa, Yulimar Jiménez Díaz por brindarme el apoyo moral para seguir adelante con mis estudios a pesar de las responsabilidades como cabeza de hogar y por sus consejos.

A mi hijo, Yeshua David Rodríguez Jiménez, por ser mi gran motivación para salir adelante en el futuro.

A mi directora de tesis Karina Castellanos Romero por el tiempo dispuesto y el apoyo brindado y guiarme para el desarrollo de este trabajo, igualmente a mi codirectora Karina Martínez Pérez quien siempre no tuvo reparos en aplicar sus conocimientos y experiencia para plasmarlo en este trabajo.

A mi compañera de mil batallas, Gisella Díaz Saumeth, por ser siempre mi apoyo en las responsabilidades de la universidad y buena amiga durante la estancia en ella.

En general agradezco a todas las personas que aportaron en mi vida, desde la más mínima hasta la máxima, que contribuyeron a ser lo que soy hoy en día.

TITULO DEL TRABAJO DE GRADO

RESUMEN

Las bacterias Solubilizadoras de fosfatos (BSF) están incluidos dentro de los microorganismos que tienen la capacidad de mineralizar el fósforo orgánico, además son denominados promotores del crecimiento vegetal (PGPR), estos microorganismos se desarrollan en medios con fosfatos tricálcicos, apatitas o compuestos insolubles. Los BSF pueden ser de vida libre en el suelo o establecer relaciones simbióticas con algunas plantas, adaptándose y colonizando la rizosfera de la planta. Actualmente, el suelo presenta degradación y contaminación que altera la biodiversidad de éste, mediante la agricultura y el uso indiscriminado de pesticidas que a largo plazo acumulan toxinas que influyen en los alimentos, medio ambiente y la salud. El objetivo de este estudio es la de analizar las cepas de bacterias Solubilizadoras de fosfatos descritas y sus mecanismos para el mantenimiento del sueño, reportados en la literatura científica. Para llevar a cabo el objetivo se siguió una metodología basada en las directrices PRISMA, la cuál constó de 4 fases, se realizó una búsqueda inicial entre los meses de Julio y agosto de 2021 en las bases de datos Scindirect y JSTOR, dónde los resultados se acotaron en publicación realizadas en los últimos 40 años, lo cual dio como resultado inicial 9848 publicaciones entre las dos plataformas. Al final del ejercicio se seleccionó 57 artículos (52 en la plataforma Scindirect y 5 en JSTOR). En la lectura profunda de los artículos seleccionados previamente, se identificaron 135 especies distribuida en 45 géneros, siendo seis los más representativos *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Serratia* y *Streptomyces* representando el 49,60% de las especies citadas. Entre los mecanismos para la Solubilización de fosfatos siguió un mismo patrón, de manera muy general se da una disminución del pH por medio de la excreción de ácidos orgánicos, además la Solubilización de fosforo (P) mediante procesos enzimáticos mediados por las enzimas fosfatasas y fitasas. En conclusión, se determinó que la versatilidad metabólica es una gran ventaja en cuanto a la importancia ambiental y económica entre las cepas representativas, ya que suelen ser útiles en el campo de la biotecnología y de la mano con la agricultura sostenible abriendo campo para nuevas investigaciones futuras.

PALABRAS CLAVE: Bacterias, Solubilización de fosfatos, actividad enzimática, fosfatasas, fitasas, mecanismos.

ABSTRACT

Phosphate Solubilizing Bacteria (BSF) are included within the microorganisms that have the ability to mineralize organic phosphorus, they are also called plant growth promoters (PGPR), these microorganisms develop in media with tricalcium phosphates, apatites or insoluble compounds. BSF can be free-living in the soil or establish symbiotic relationships with some plants, adapting and colonizing the plant's rhizosphere. Currently, the soil presents degradation and contamination that alters its biodiversity, through agriculture and the indiscriminate use of pesticides that in the long term accumulate toxins that influence food, the environment and health. The objective of this study is to analyze the strains of phosphate solubilizing bacteria described and their mechanisms for maintaining sleep, reported in the scientific literature. To carry out the objective, a methodology based on the PRISMA guidelines was followed, which consisted of 4 phases, an initial search was carried out between the months of July and August 2021 in the Scindirect and JSTOR databases, where the results were They limited the publications made in the last 40 years, which gave an initial result of 9,848 publications between the two platforms. At the end of the exercise, 57 articles were selected (52 in the Scindirect platform and 5 in JSTOR). In the deep reading of the previously selected articles, 135 species distributed in 45 genera were identified, with six being the most representative *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Serratia* and *Streptomyces*, representing 49.60% of the species cited. Among the mechanisms for the phosphate solubilization, the same pattern followed, in a very general way there is a decrease in pH through the excretion of organic acids, in addition to the solubilization of phosphorus (P) through enzymatic processes mediated by the enzymes phosphatases and phytases . In conclusion, it was determined that metabolic versatility is a great advantage in terms of environmental and economic importance among the representative strains, since they are usually useful in the field of biotechnology and hand in hand with sustainable agriculture, opening the field for new research future.

KEY WORDS: Keywords: Bacteria, Phosphate solubilization, enzymatic activity, phosphatases, phytases, mechanisms.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. EL SUELO.....	18
2.2. MICROORGANISMOS DEL SUELO.....	19
2.3. FÓSFORO (P)	19
2.3.1. FÓSFORO INORGÁNICO (Pi)	20
2.3.2. FÓSFORO ORGÁNICO (Po)	21
2.4. MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS (MSF)	21
2.5. BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS (BSF).....	22
2.6. ACIDOS ORGÁNICOS.....	23
2.7. ENZIMA FOSFATASAS	23
2.8. ENZIMA FITASA	24
3. OBJETIVOS	25
3.1. OBJETIVO GENERAL	25
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4. METODOLOGÍA	26
4.1. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	27
4.1.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	27
4.1.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	27
4.1.3. BÚSQUEDA INICIAL.....	27
4.1.4. BÚSQUEDA SISTEMÁTICA	27
4.1.5. SELECCIÓN PREVIA DE INFORMACIÓN	28
4.1.6. SELECCIÓN DE INFORMACIÓN	28
4.1.7. EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN	28
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1. IDENTIFICACIÓN DE BSF	29

5.2. MECANISMOS DE SOLUBILIZACIÓN POR BSF	40
6. CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	46
ANEXOS	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Representación Porcentual de los géneros de BSF citadas.

Figura 2. Esquema metodológico mediante el cual se obtuvieron los resultados.

Figura 3. Mecanismos de Solubilización por parte de las cepas de bacterias Solubilizadoras de fosfatos citados en la literatura científica seleccionada.

Figura 4. Solubilización de fosfatos inorgánicos

Figura 5. Acción de las enzimas fosfatasa

Figura 6. Acción de las enzimas fitasa

LISTA DE TABLAS O FIGURAS

Tabla 1. Resumen de los mecanismos de Solubilización de los seis géneros más representativos de este estudio.

Tabla 2. Características de Solubilización de los géneros restantes encontrados basados en la literatura científica seleccionada.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Extracción de información entre los artículos seleccionados

Anexo 2. Distribución Porcentual de los géneros de bacterias Solubilizadoras de fosfatos.

INTRODUCCIÓN

Las bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) hacen parte de los microorganismos que tienen la capacidad de mineralizar el fósforo orgánico, también hacen parte de los microorganismos denominados como promotores del crecimiento vegetal (PGPR) (Escudero, 2008), puesto que tienen la capacidad de convertir los diferentes compuestos de carácter insoluble a solubles en el caso específico de las BSF, este proceso se conoce como metabolización de fósforo. Estos microorganismos se desarrollan en medios con fosfatos tricálcicos, apatita o compuestos insolubles con única fuente de fosfato, asimilando este elemento y solubilizándolo hasta liberarlo en cantidades por encima a sus demandas nutricionales (Salazar, 2008).

Actualmente, el suelo atraviesa un problema invisible (Muñoz, 2018), puesto que el proceso de degradación y contaminación del mismo es mucho mayor, alterando la biodiversidad presente en este y ocasionando la disminución de materia orgánica. Entre los contaminantes más determinantes del suelo se encuentran los metales pesados, material orgánico persistente y los emergentes como farmacéuticos y de aseo personal (FAO, 2018).

Basado en lo anterior, es importante considerar que la agricultura y el uso indiscriminado de pesticidas contribuyen a acumular sustancias tóxicas para los alimentos, la salud, el ambiente y además a la reducción de elementos indispensables como el fósforo en el suelo (Muñoz, 2018). Por lo tanto, es necesario destacar que una deficiencia del fósforo (P) en el suelo puede influir de manera negativa en su ecosistema, siendo de mayor impacto para las plantas, afectando el crecimiento, madurez y consiguientemente la disminución de su rendimiento. Basados en esto,

las bacterias solubilizadoras de fosfatos (en su abreviatura, BSF) son indispensables en cuanto a la movilización del fósforo en el suelo, para la fácil asimilación de manera directa por el microbiota, para vertebrados pequeños y en el especial para las plantas (Bobadilla et al., 2008).

Ante los graves problemas que se presentan actualmente con respecto al suelo, entre estos principalmente la degradación, contaminación y perturbación por medio de la actividad humana que de manera directa o indirecta ha contribuido a la poca fertilidad y la rápida desertización, lo que propicia una preocupación en cuanto a la disminución de elementos esenciales como el fósforo (P), por lo anterior resulta de especial interés conocer cuáles son las cepas de bacterias solubilizadoras de fosfato e identificar también sus mecanismos para el mantenimiento de este importante elemento y sus compuestos en el suelo, para así poder adoptar estrategias de recuperación del suelo y sus elementos esenciales para el sostenimiento de la biota y microbiota con ayuda de los productos orgánicos producidos por estos microorganismos (Beltrán, 2014).

La presente investigación surge de la necesidad de estudiar las cepas de bacterias solubilizadoras de fosfato con el propósito de identificar de acuerdo a la literatura científicas las que propicien el equilibrio del Fósforo en el suelo, el mantenimiento de los distintos ciclos biogeoquímicos en especial el de Fósforo y también determinar las estrategias que los microorganismo tienen para realizar la metabolización del elemento de interés (P) y su funcionalidad para la microbiota y demás organismos.

Adicionalmente, este trabajo busca ampliar los datos acerca de la actividad solubilizadoras de fosfatos por parte de las bacterias asociadas al suelo y

profundizar en el conocimiento acerca de estos microorganismos, sus características y las necesidades que pueden llegar a tener en su aplicabilidad en agricultura sostenible, restauración y biorremediación, mediante los procesos de transformación de elementos esenciales como lo es el fósforo (P), considerando que es el segundo elemento clave como nutriente mineral de requerimiento de las plantas, para procesos de transferencia de energía y en el metabolismo en general (Salazar, 2005) y la recuperación de suelos degradados de manera natural, contribuyendo a el desarrollo de la biotecnología microbiana (Esquivel et al., 2010).

Por último, se busca recopilar información que será útil para la aplicabilidad en la biotecnología microbiana por medio de estrategias para la aplicación de agricultura sostenible y para mejorar el conocimiento de la identificación de cepas de bacterias con mayor impacto sobre la Solubilización del fósforo del suelo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. SUELO

El suelo es definido como un sistema natural abierto, siendo un complejo que se forma en la capa más externa de la corteza terrestre, que resulta después del proceso de meteorización de las rocas, donde habitan las plantas y gran diversidad de seres vivos (Loaiza, 2010). Se puede considerar de la misma manera cómo un sistema de interacción entre tres fases: la sólida conformada por minerales y materia orgánica, una fase líquida y una gaseosa también denominada como la atmósfera del suelo (INIA, 2015).

El suelo tiene funciones muy variables además de importantes para los ecosistemas terrestres y el planeta, siendo el sustento de la vida vegetal, obteniendo de ella soporte mecánico y la obtención de nutrientes, siendo también hábitat para una gran diversidad de organismos, desde el componente microbiano (bacterias, hongo, algas, protozoarios y virus), así como artrópodos, nemátodos, pequeños mamíferos y reptiles (Burbano, 2016).

Es el lugar donde se lleva a cabo la mayor parte de los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas terrestres como la mineralización de la materia orgánica, nitrificación, fijación de nitrógeno, oxidación de metano y la movilización de fósforo (Luna et al., 2002).

2.2. MICROORGANISMOS DEL SUELO

Los microorganismos forman gran parte del suelo y son importante para procesos de transformación de elementos indispensables para la regulación de la naturaleza del suelo. Las bacterias, hongos, microalgas y protozoos son los organismos que componen el suelo y de gran importancia de acuerdo a sus funciones que facilitan la disponibilidad de nutrientes que son relevantes para el desarrollo de las plantas. Estudios han determinado que la rizosfera es la porción del suelo dónde se encuentra en mayor proporción la actividad microbiana, esto es debido a la gran cantidad de microorganismos heterotróficos (Alexander, 1997).

Varios autores (Kleupfel, 1993; Kennedy, 1995; Barea, 1998 & Bowen, 1999) resaltan funciones para procesos de transformación en asociación entre organismos y raíces: (1) Suministran nutrientes por medio de la fijación de nitrógeno, (2) Transformación de compuestos inorgánicos a orgánicos, (3) Solubilización de compuestos inorgánicos (Fosfato tricálcico o monocálcico), (4) Control de fitopatógenos, (5) Reacciones antagónicas y (6) Propiedades físicas del suelo mejorados.

2.3. FÓSFORO (P)

El fósforo es considerado el segundo elemento clave en cuanto a la importancia después del nitrógeno, cómo nutriente mineral en términos de requerimiento cuantitativo de la planta, indispensable en la forma orgánica cómo la inorgánica, está se presenta en el suelo forma insolubles (Sharma et al., 2013).

Dentro de las funciones de este elemento se le atribuyen la captación, almacenamiento y transferencia de energía, además de formar parte de

macromoléculas como lo son los ácidos nucleicos y fosfolípidos que conforman membranas, además cumplen funciones en el metabolismo energético celular y en procesos de fotosíntesis, glucólisis, respiración y síntesis de ácidos grasos (Corrales et al., 2014).

La reserva de fósforo se encuentra en las rocas, unidas al oxígeno formando fosfatos y la cantidad de fósforo en el suelo se expresa como $P_2 O_5$ y este se clasifica en fósforo inorgánico (Pi) y fósforo orgánico (Po), habiendo una diversidad de compuestos fosforados, variando en su disponibilidad para las plantas, siendo el Pi la más común en el suelo (Díaz, 2001)

2.3.1. Fósforo Inorgánico (Pi)

Es el fósforo presente en minerales primarios (apatitas, hidroxiapatitas y oxiapatitas) siendo estos no asimilados por las plantas ya que tienen como propiedad ser insolubles y difícilmente solubilizable, siendo estos muy lentos en la meteorización del suelo. (Montecinos, 2010).

Esta clase de fósforo son solubilizadas a través de la producción de ácidos orgánicos, como ácido glucónico, liberando fosfato y cationes que son de fácil asimilación por organismos (Sharma et al., 2013).

2.3.2. Fósforo Orgánico (Po)

Es la clase de fósforo que se obtiene de los restos animales y vegetales que se encuentran en el suelo y por medio del proceso de descomposición bacteriana liberan compuestos fosfatados, teniendo este muy bajo peso molecular (Arzuaga, 2005) y absorbidos sobre la capa arcillosa, siendo está donde se encuentran el mayor contenido de fósforo orgánico, constituyendo un 29 al 65% del fósforo presente en el suelo, siendo estás de bajo peso molecular. (Montecinos, 2010).

Tres grupos de compuestos forman la reserva de Po en el suelo: (1) Los inositolfosfatos, (2) Ácidos nucleicos y (3) Los fosfolípidos. El contenido de Po depende varios factores como el clima, vegetación, textura y uso del suelo (Sharma et al., 2013).

2.4. MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS (MSF)

Los microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF) son grupo importante de PGPM (del inglés: *Plant growth promoting microorganisms*) que están involucrados en procesos que afectan la transformación del fósforo (Fenken et al., 2006), estos organismos están asociados con las raíces, incrementando así el crecimiento de las plantas y su productividad (Rosas et al., 2006).

Los MSF movilizan fosfatos inorgánicos insolubles desde la matriz mineral hasta el suelo, siendo ya absorbidas por las plantas (Pérez et al., 2007).

La solubilización natural de fosfato es un papel importante que exhiben muchos microorganismos del suelo, en relación con la rizosfera es el lugar donde se encuentra más alta y eficaz la concentración de MSF debido a que exudados radicales y detritus vegetales proporcionan el sustrato energético para que sea posible la actividad microbiológica solubilizadoras de fosfato (Velero, 2003).

Algunos microorganismos solubilizadores de fosfatos muestran otras actividades que promueven el crecimiento vegetal como es la producción de ácido indolacético (AIA), ácido giberélico, citoquininas, etileno, ácido cianhídrico (HCN), además de simbiosis de nitrógeno y resistencia de patógenos del suelo (Banerjee et al., 2010), siendo las bacterias los microorganismos predominantes que solubilizan fosfato en comparación con hongos y actinobacterias, constituyendo del 1 a 50% de la población microbiana (Kucey, 1989; Guang-Can et al., 2008).

2.5. BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO (BSF)

Son las especies bacterianas que tienen la capacidad de solubilizar compuestos fosfatados inorgánicos insolubles como el fosfato tricálcico, dicálcico, hidroxapatitas y roca fosfato (Chen et al., 2006; Ivanova et al., 2006 & Mikanova, 2002), en la cual se incluyen bacterias Gram negativas y Gram positivas e incluso algunas especies de *Streptomyces* (Moura et al., 2001).

Las BSF pueden ser de vida libre en el suelo o establecer relaciones simbióticas con algunas plantas, que son capaces de adaptarse y colonizar en la rizosfera de las plantas (Fernández et al., 2005).

2.6. ACIDOS ORGÁNICOS

Los ácidos orgánicos son sustancias polares, capaces formar puentes de hidrógeno entre sí, el agua y de solubilizar fosfatos, cuya característica importante es que son de bajo peso molecular constan de uno o más grupos carboxilos, siendo alifáticos y por el número de estos grupos carboxilos y las propiedades de disociación, pueden presentar carga negativa por lo que posibilita formar complejos con cationes metálicos. La producción de los ácidos orgánicos por las bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) tienen acción directa en la acidificación, quelación, precipitación y las acciones de oxidación – reducción en la rizosfera (Paredes et al. 2009).

Los ácidos orgánicos tienen la capacidad de modificar las características fisicoquímicas de los microambientes como es el valor del pH, además aportan tanto protones que generan la acidificación del suelo, sirviendo como fuente de carbono para los microorganismos y al ser adicionadas al suelo por lo que produce un descenso significativo del pH (Serna, 2015).

2.7. ENZIMAS FOSFATASAS

Las enzimas fosfatasas tienen la capacidad de catalizar la hidrólisis de los fosfomonoésteres que se encuentran en los distintos sistemas biológicos. Estas enzimas han sido clasificadas en cuatro subclases diferentes denominadas fosfatasas ácidas, fosfatasas alcalinas, fosfatasas histidinas ácidas y proteínas fosfatasas (Fernández et al. 2005).

Estas enzimas fosfatasas son producidas por algunos microorganismos y es estimuladas en condiciones muy específicas como es la presencia de alto índice de materia orgánica, además del bajo nivel de fósforos en el suelo (Corrales-Ramírez et al. 2014).

2.8. ENZIMAS FITASAS (myo – Inositol hexafosfato hidrolasas)

Estas enzimas son pertenecientes a una clase especial de fosfatasas que tienen la capacidad de llevar a cabo la hidrólisis del ácido fítico (myo – Inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexakisfosfato), que producen derivados del myo – Inositol menos fosforilados y fosfatos inorgánicos. Las fitasas están ampliamente distribuidas en el medio, están presentes en las plantas, microorganismos y algunos tejidos animales. Por su configuración existen una diferencia entre las fitasas producidas por las bacterias Gram – negativas y Gram – Positivas, siendo la primera proteínas intracelulares y periplasmática, mientras que los segundos son extracelulares. En la actualidad, se han identificado dos tipos principales fitasas, las ácidas con un pH óptimo entre 2,5 y 5,5 y las alcalinas con un pH óptimo entre 6 y 8 (Fernández & Rodríguez, 2005).

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Analizar la función de las cepas de bacterias solubilizadoras de fosfato y los mecanismos para el mantenimiento del suelo, reportados en la literatura científica.

3.2. ESPECÍFICOS

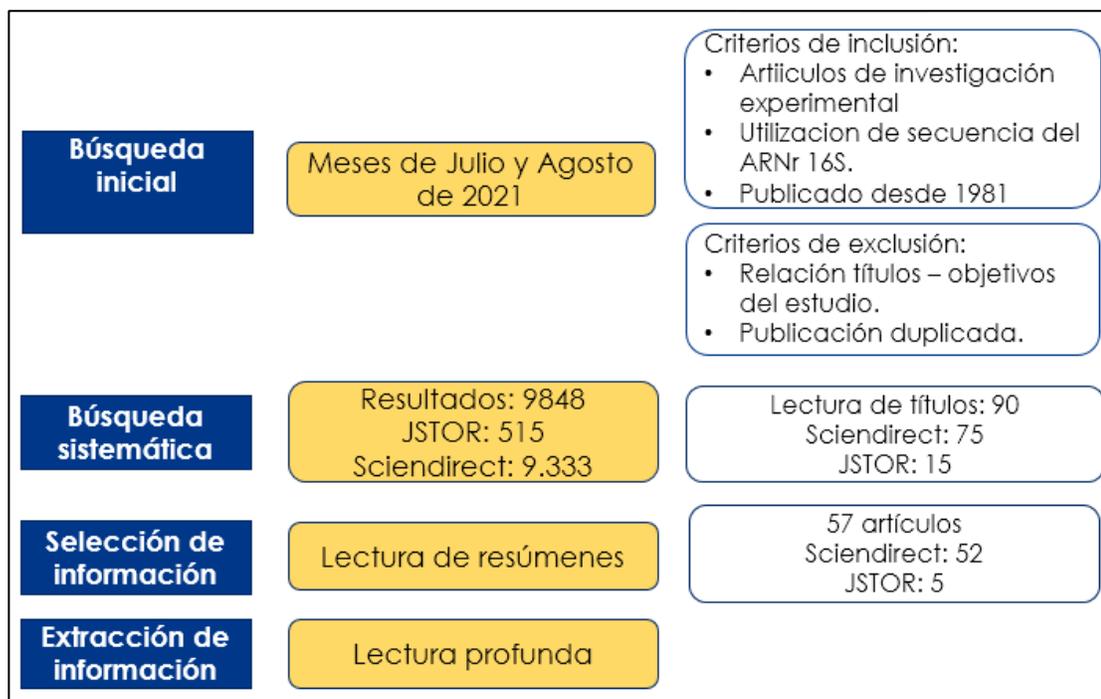
Identificar las cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato que influyen en el mantenimiento del suelo.

Describir los mecanismos que utilizan las bacterias que contribuyen para la eficacia en la Solubilización de fosfatos en el suelo.

4. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se llevó a cabo una revisión sistemática de publicaciones científicas en materia de bacterias solubilizadoras de fosfatos y sus mecanismos. Para la elaboración de este estudio se ha seguido las directrices de la declaración PRISMA para la correcta elaboración de revisiones sistemáticas. Cada paso realizado se detalla a continuación bajo las directrices PRISMA (Figura 1)

Figura 1. Diagrama de flujo bajo las directrices PRISMA. (Moher et al., 2009).



4.1. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

4.1.1. Criterios de inclusión. Para la selección de los artículos se va a tener en cuenta lo siguiente:

- Los artículos a utilizar en la revisión deben ser concretamente investigaciones experimentales y no de revisiones, estudios de casos o manuscritos.
- Documentos que utilicen técnicas moleculares como lo es la identificación de bacterias mediante secuenciación del ARNr 16S.
- Que se hayan publicado en los últimos 40 años (1981 hasta la actualidad).

4.1.2. Criterios de exclusión. Según los criterios anteriores y solo con la lectura de los títulos se consideró los artículos adecuados que guarden relación con el objetivo de esta revisión, se eliminó las publicaciones duplicados entre ambas bases de datos.

4.1.3. Búsqueda inicial. La búsqueda se realizó en los meses de Julio y agosto del presente año, combinando los términos o descriptores '*Solubilizing Phosphate bacteria*' e '*Isolation of Solubilizing Phosphate bacteria*' en las bases de datos *Sciendirect*, JSTOR. Estas búsqueda resultó una cantidad muy considerable de resultados (en total 9.848) cabe resaltar que muchos de ellos fueron repetitivas o poco útiles para la presente revisión, a todo lo anterior se deduce que es muy amplia la temática seleccionada.

4.1.4. Búsqueda sistemática. La búsqueda sistemática se realizó nuevamente en Julio del presente año, usando las plataformas *Sciendirect* y JSTOR, donde los

resultados se acotan a la publicación realizadas en los últimos 40 años (1981 a la actualidad).

La combinación de términos que arrojó mayor resultado en ambos buscadores fue 'Isolation of Solubilizing Phosphate bacteria'. En concreto, se obtuvo 515 resultados en JSTOR y 9.333 en *Sciendirect*.

4.1.5. Selección previa de información. En esta fase se realizó el primer cribado con la lectura de títulos obteniendo como selección previa un total de 90 artículos, siendo la plataforma *Sciendirect* la de mayor número con 75 artículos y la restante con 15 la plataforma de JSTOR respectivamente.

4.1.6. Selección de información. Posteriormente se procedió a la lectura de los resúmenes como segundo cribado para la selección de publicaciones a fines con la presente revisión. Al finalizar el ejercicio de lectura de resúmenes se seleccionó 57 artículos (52 de la plataforma *Sciendirect* y 5 de JSTOR).

4.1.7. Extracción de información. Luego del segundo cribado se realizó una lectura profunda entre las publicaciones seleccionadas y se seleccionarán los resultados obtenidos en una tabla (ver anexo 1).

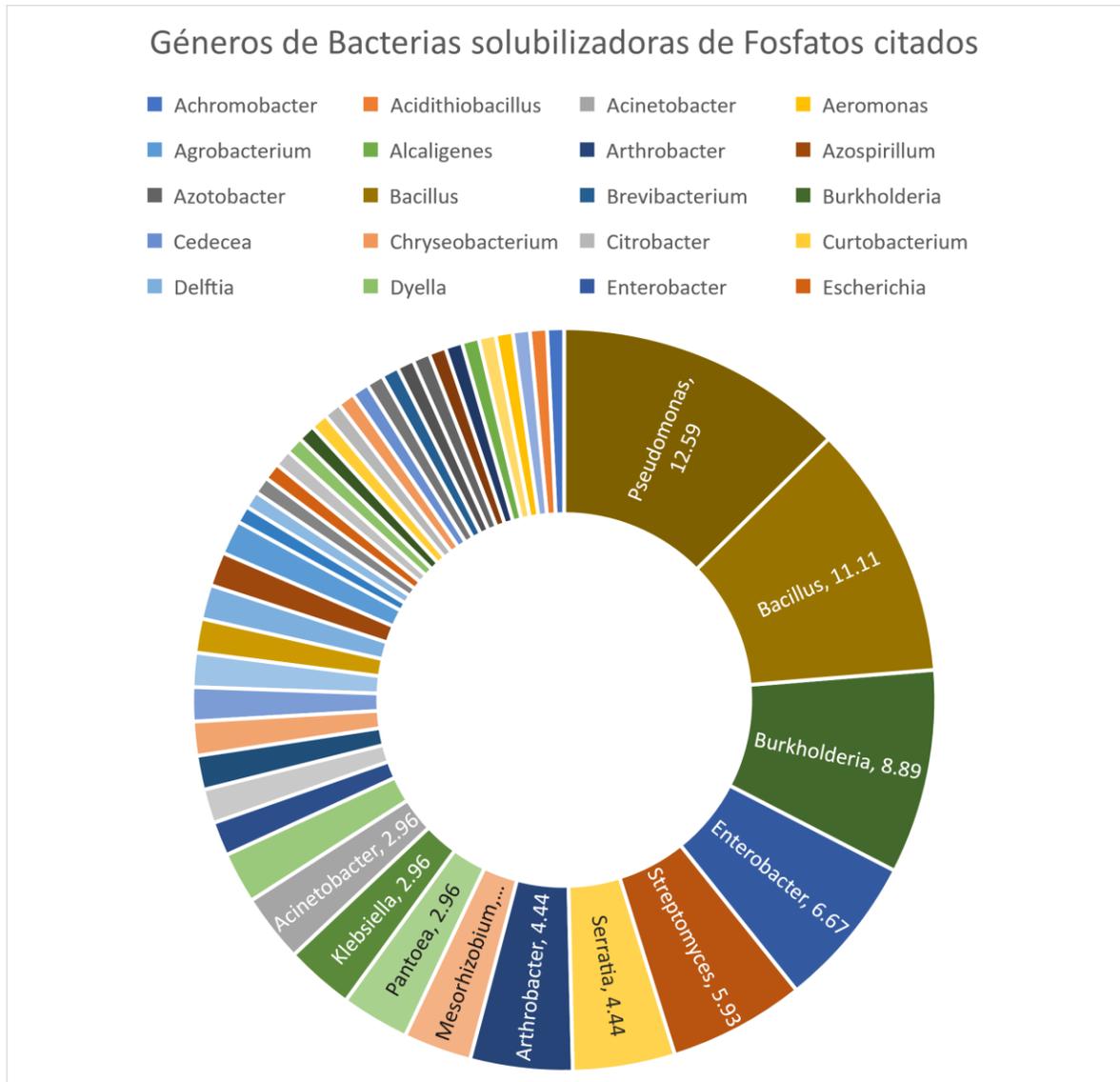
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Identificación de BSF

La revisión permitió encontrar 135 especies de bacterias solubilizadoras de fosfato citadas en la literatura científica seleccionada. Estas bacterias distribuidas en 45 géneros, donde los más representativos son *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Burkholderia*. Cabe resaltar que estos tres géneros representan el 32,58 % de las especies citadas por diferentes autores, casi la tercera parte de las especies referenciadas en los distintos trabajos de investigación seleccionados, por lo que se puede denotar que las especies de estos tres géneros ya mencionados tienen una mayor capacidad de solubilizar P sin importar el nivel de estrés que tenga el suelo. En segunda medida con un 17,02 % que reúne los géneros *Enterobacter*, *Serratia* y *Streptomyces* como se observa en el gráfico 1, donde se evidencia una brecha muy grande entre los géneros del primero con el segundo grupo ya referenciados anteriormente, donde se puede inferir que el primer grupo que representa el 32,58% tiene los mayores índices de especies con mayor viabilidad y capacidad de Solubilización de fosfatos en el suelo.

Con respecto a lo anterior, los seis géneros representan cerca de la mitad (49,60 %) de las especies citadas para los 45 géneros de bacterias solubilizadoras de fosfatos, mientras que los restantes (39 géneros) no sobrepasan el 5% de especies citadas, siendo el segundo grupo de géneros, posiblemente minoría en los microhabitats o no son representativos en cuanto a la viabilidad o baja capacidad para Solubilizar de P, pero que pueden ser objetos para futuros estudios, aunque la mayoría comparten similares mecanismos de solubilización de P pueden existir excepciones u otro mecanismo que puede ser interesante para el desarrollo de la agricultura sostenible y el campo de la biotecnología microbiana.

Figura 2. Representación Porcentual de los géneros de BSF citados.



Entre las especies más representativas del género *Bacillus*, se tiene *Bacillus subtilis* que tiene la capacidad de solubilizar fósforo a partir de fosfatos tricálcicos (Aluminio y férrico) según varios autores (Banik and Dey (1981 y 1983); Liu (2015); Kumar (2016); Kumary (2018)), predominando la disminución del pH en 2,61 y 2,51 según estudios de Gaing (1989) y Teymouri (2016), lo anterior marcado por la secreción

de diferentes ácidos orgánicos como son el ácido glucónico, 2-cetogluconico, succínico, oxálico y malónico en el medio (Banik and Dey (1981 y 1983); Niranjama (2009). Además, esta especie es capaz de solubilizar el fósforo orgánico (Fitato de Calcio) e hidrolizar el P inorgánico mediante la enzima fosfatasa (Liu et al. 2015) (Ver tabla 1).

Lo anterior, confirma lo descrito por Hernández (2011) que el género *Bacillus* es el más representativo dentro de las BSF, siendo además un referente en investigaciones con aplicabilidad biotecnológicas ofreciendo como alternativa de biofertilizante ayudando en la disponibilidad de nutrientes en los microambientes como lo es el fósforo, un elemento limitado para la agricultura pero que este género de bacterias ayuda a la optimización de este elemento para el desarrollo de la agricultura sostenible, además a la promoción de crecimiento de plantas y a esto al sostenimiento del suelo, sus nutrientes y su ecosistema.

Tabla 1. Resumen de mecanismos de Solubilización de fósforo de los seis géneros más representativos de la literatura seleccionada.

ESPECIES	GÉNEROS	pH	ACIDOS ORGANICOS PRODUCIDOS	ACTIVIDAD FOSFATASAS	OTROS
<i>B. circulans</i>	<i>Bacillus</i>	↓	Ácido 2-cetogluconico, succínico, oxálico y malónico.		
<i>B. cereus</i>		↓		X (alcalinas)	
<i>B. pumilus</i>		↓	Ácido glucónico, 2-cetogluconico y pirúvico.		
<i>B. amyloliquefaciens</i>		↓	Ácido glucónico		
<i>B. aryabhatai</i>		↓			
<i>B. firmus</i>		↓	Ácido 2-cetogluconico, succínico, oxálico y malónico.		
<i>B. laevolacticus</i>		↓	Ácido gluconico		

<i>B. megaterium</i>		↓	Ácido cítrico, láctico, gluconico, succínico y propiónico.		
<i>B. populi</i>		↓	Ácido cítrico, málico, láctico y succínico.		
<i>B. safensis</i>					
<i>B. senegalensis</i>					
<i>B. subtilis</i>		↓	Ácido 2-cetogluconico, succínico, oxálico y malónico.	X	
<i>B. thuringiensis</i>		↓	Ácido gluconico, 2-cetogluconico y pirúvico.		
<i>P. oryzihabitans</i>	<i>Pseudomonas</i>	↓	Ácido cítrico, láctico, propiónico, oxálico, malónico, succínico, 2-cetogluconico, isovalérico, isobutírico y acético. Ácido acético, oxálico y gluconico.	X (alcalina)	
<i>P. aeruginosa</i>		↓			
<i>P. brassicacearum</i>		↓			
<i>P. corrugata</i>		↓			
<i>P. dimnuta</i>		↓		X (ácida)	
<i>P. fluorescens</i>		↓		X (ácida)	
<i>P. frederikbergensis</i>		↓			
<i>P. guariconensis</i>		↓			
<i>P. koreensis</i>		↓			
<i>P. lini</i>		↓			
<i>P. mandelii</i>		↓			
<i>P. mediterranea</i>		↓			
<i>P. moraviensis</i>		↓			
<i>P. putida</i>		↓		Ácido gluconico, oxálico, malónico, acético, fórmico, cítrico y succínico.	X (ácida)
<i>P. synxanthal</i>	↓	Ácido gluconico, oxálico, malónico y succínico.	X (ácida)		
<i>B. anthina</i>	<i>Burkholderia</i>	↓	Ácido gluconico, 2-cetogluconico y pirúvico.	X (ácidas y alcalinas)	
<i>B. cenocepacia</i>		↓	Ácido cítrico		
<i>B. ambifaria</i>		↓		X	
<i>B. cepacia</i>		↓	Ácido fórmico, gluconico		Mineraliza P a partir de ácido fítico (P-fitato)
<i>B. gladioli</i>		↓	Ácido gluconico, cetogluconico, oxálico y succínico	X	Producción de IAA y sideróforo.
<i>B. mallei</i>		↓			

<i>B. phenazinium</i>		↓	Ácido glucónico, 2-cetogluconico y pirúvico.	X (ácida y alcalina)	
<i>B. phytofirmans</i>		↓			
<i>B. pseudomallei</i>		↓			
<i>B. thailandensis</i>		↓			
<i>B. vietnamiensis</i>		↓	Ácido glucónico, cítrico, succínico y acético		
<i>S. grimesii</i>		↓	X		
<i>S. marcescens</i>	<i>Serratia</i>	↓	Ácido cítrico, láctico, glucónico, succínico, propiónico, oxálico, cetogluconico.		Producción de metabolitos secundarios IAA y Sideróforo.
<i>S. marcescens subsp. Sakuensis</i>		↓	X		
<i>S. nematodiphila</i>					
<i>S. ureilytica</i>		↓	X		
<i>S. alboflavus</i>					Solubilización de Fosfato di cálcico
<i>S. fimbriatus</i>		↓	X		
<i>S. galileus</i>					
<i>S. labedae</i>		↓	X		
<i>S. platensis</i>	<i>Streptomyces</i>				
<i>S. thermocarboxydus</i>		↓	X	X	
<i>S. werraensis</i>		↓	X	X	Utilización del fitato (PUB)
<i>E. aerogenes</i>		↓	Ácido cítrico, propiónico, glucónico, láctico y succínico		
<i>E. amnigenus</i>		↓	X		
<i>E. asburiae</i>		↓	X		
<i>E. cancerogenus</i>		↓	X		
<i>E. cloacae</i>	<i>Enterobacter</i>	↓	Ácidos acético, pirúvico, fumárico y cítrico	X (Ácida)	
<i>E. gergoviae</i>		↓	X		
<i>E. hormaeche</i>		↓	Ácido glucónico, cetogluconico, oxálico, succínico		Producción de IAA y sideróforo
<i>E. ludwigii</i>		↓	X		

Dentro del género *Pseudomonas*, varias son las especies que pueden ser de gran importancia, entre ellas sobresalen *P. aeruginosa*, *P. putida* y *P. fluorescens*, donde todas comparten como mecanismo de solubilización de fosfatos tricálcicos ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$) la disminución del pH, en el caso más específico en *P. putida* con un rango de 4,15 a 5,09 (Yang et al. 2012), lo anterior desencadenado por la liberación de compuestos orgánicos como son el Ácido glucónico, oxálico, malónico, acético, fórmico, cítrico y succínico (Teng et al. 2019), producido mediante fuente de Carbono como lo son el citrato, glucosa y sacarosa (Teymouri et al. 2016) y para esta misma especie, desarrolla una enzima que puede liberar fosfato inorgánico de los complejos organofosforado, además comparte características con *P. fluorescens* como es la actividad fosfatasa y producción de polisacáridos para solubilizar fosfatos, esta última especie también tiene la capacidad de producir fosfatasas ácidas, catalasas y peroxidasa (Liu et al. 2015) (Ver tabla 2). A lo descrito anteriormente se puede observar, como especies dentro de un mismo género, en este caso el género *Bacillus*, comparten diferencias en cuanto a los mecanismos de solubilización de P, lo cual abre un abanico de posibilidades que favorecen el mantenimiento del suelo, además de la fijación de nutrientes esenciales para su entorno, en especial para las plantas que se ven beneficiadas por la versatilidad metabólica que comparte la cepa *P. putida*, la cual es muy conveniente ya que se puede ser objeto de estudio a mediano plazo, sobre que condiciones en específico, esta cepa utiliza sus diferentes mecanismos para mineralizar el P que se encuentra en su entorno, siendo esta respuesta de gran ayuda para la implementación de avances biotecnológicos que ayuden a perpetuar los nutrientes en el suelo, sin importar que el suelo este siendo utilizado para agricultura, de la misma manera para restaurar suelo degradados, es decir, una cepa de bacterias con distintos mecanismo para solubilizar P abre muchas puertas para diversas aplicaciones tanto científicas, sociales y económica.

Posteriormente, entre los géneros más representativos, se tiene la especie *Burkholderia cepacia*, en primer lugar comparte los mismos mecanismos para solubilización de P, como fuente principal el fosfato tricálcico y en segunda medida el fosfato de aluminio, como en los casos anteriores la disminución de pH entre 5,24 – 3,12 según Pande (2007) y otro estudio de Zhao (2014) muestra una variación entre 3,08 a 0.08, lo anterior mediante secreción de ácidos orgánicos como el fórmico y glucónico, utilizando dextrosa, manosa, almidón, xilosa y galactosa como únicas fuentes de C (Zhao et al. 2014) y por último también es capaz de mineralizar P orgánico a partir de ácido fítico (P- fitato), según Oliveira (2009) (Ver tabla 1).

Los resultados plasmados en los párrafos anteriores, confirman lo divulgados por distintos autores (Ruíz, 2007; Moreno-Conn, 2020) que los géneros *Pseudomonas* y *Burkholderia* son microorganismos metabólicamente versátiles que tienen la capacidad de utilizar diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, lo que indica que son géneros con representantes que exhiben una alta capacidad para solubilizar fosfatos (Benjumeda, 2017), y según Moreno-Conn (2020) las bacterias que pertenecen al género *Burkholderia* tienen mayor eficiencia en la Solubilización de fosfatos minerales, debido a la secreción de ácidos orgánicos como se observa en la tabla 1.

Para resaltar el segundo grupo de géneros con mayor número de especies citadas (17,02%) a pesar de ser citados, en la mayoría de las especies se describe el descenso de pH por medio la secreción de ácidos orgánicos, pero no hay mucha información sobre los ácidos orgánicos secretados por lo que se evidencia un vacío para en lo concerniente a el mecanismo de solubilización de la mayoría de las especies de este segundo grupo. También es importante destacar que existen cuatro especies que se le pueden considerar con metabolismo versátil ya que solubilizan P por medio la secreción de ácidos orgánicos, mediante enzimas fosfatasas y la producción de IAA y sideróforo, estas especies son *S. werraensis*, *S.*

thermocarboxydus, *E. cloacae* y *S. marcescens* correspondiente a los géneros *Streptomyces*, *Enterobacter* y *Serratia* respectivamente.

Tabla 2. Características de Solubilización de P de las cepas minoritarias citadas en los artículos seleccionados.

Especies	Géneros	Características de Solubilización
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	<i>Achromobacter</i>	Solubilización de fosfatos inorgánicos.
<i>Acidithiobacillus sp.</i>	<i>Acidithiobacillus</i>	Ácido sulfúrico → ↓ pH
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Acinetobacter lwoffii</i> <i>Acinetobacter pittii</i>	<i>Acinetobacter</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos e inorgánicos. ↓ pH Temperatura óptima para solubilización (28° C) Producción ácidos orgánicos (cítrico, láctico, propiónico, oxálico, malónico, succínico, glucónico, cetoglucónico, isovalérico, isobutírico y acético).
<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Aeromonas</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos Ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Agrobacterium sp.</i> <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium</i>	Producción de fosfatos tricálcicos Fuentes de C (Sacarosa, fructosa y maltosa)
<i>Alcaligenes aquatilis</i>	<i>Alcaligenes</i>	Ácido cítrico → ↓pH
<i>Arthrobacter nitroguajacolicus</i> <i>Arthrobacter oxydans</i> <i>Arthrobacter pascens</i> <i>Arthrobacter ramosus</i> <i>Arthrobacter ureafaciens</i>	<i>Arthrobacter</i>	Ácido cítrico, láctico, glucónico, succínico, propiónico → ↓pH
(*) <i>Azospirillum halopraeferens</i>	<i>Azospirillum</i>	(*) No utiliza glucosa

<i>Azospirillum sp.</i>		<p>(*) No produce ácidos orgánicos.</p> <p>(*) Mecanismo desconocido</p> <p>Glucosa → Ácidos orgánicos (acético, cítrico, láctico, succínico) → Metabolismo de P</p>
<i>Brevibacterium frigoritolerans</i>	<i>Brevibacterium</i>	Producción de ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Cedecea davisae</i>	<i>Cedecea</i>	Ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Chryseobacterium sp.</i>	<i>Chryseobacterium</i>	Solubilización de fosfato por medio de actividad enzimática (fosfatasa) y producción de ácidos orgánicos (cítrico, láctico, glucónico, succínico y propiónico) → ↓ pH.
<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Citrobacter</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos.
		Ácidos orgánicos → ↓ pH
<i>Curtobacterium sp.</i>	<i>Curtobacterium</i>	Glucosa como única fuente de C.
		Ácidos orgánicos (cítrico, láctico, propiónico, oxálico, malónico, succínico, glucónico, cetoglucónico, isovalérico, isobutírico y acético)
<i>Delftia sp.</i> <i>Delftia tsuruhatensis</i>	<i>Delftia</i>	Ácidos orgánicos (cítrico, láctico, glucónico, succínico y propiónico) → ↓ pH
		Hidroxiapatita como fuente de F.
<i>Dyella japonica</i>	<i>Dyella</i>	Ácidos orgánicos (glucónico, 2-cetoglucónico y pirúvico)
		Fosfatasa ácida y alcalina
<i>Escherichia sp.</i>	<i>Escherichia</i>	Utilización del fitato (PUB)
		↑ T° → ↓pH (producción de ácidos orgánicos).
<i>Exiguobacterium sp.</i>	<i>Exiguobacterium</i>	Ácidos orgánicos → ↓ pH
		Mineralización de P orgánico por las fosfatasas.

<i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> <i>Gluconacetobacter sp.</i>	<i>Gluconacetobacter</i>	Solubilización de fosfatos por producción de ácidos orgánicos.
<i>Gordonia sp.</i>	<i>Gordonia</i>	Ácidos orgánicos (cítrico, láctico, glucónico, succínico y propiónico) → ↓ pH
<i>Klebsiella oxytoca</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Klebsiella terrigena</i> <i>Klebsiella sp.</i>	<i>Klebsiella</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos. Ácido glucónico → ↓pH
<i>Leclercia adecarboxylata</i>	<i>Leclercia</i>	Ácidos orgánicos (glucónico, oxálico, malónico, acético, fórmico, cítrico y succínico) → ↓pH.
<i>Mesorhizobium ciceri</i> <i>Mesorhizobium mediterraneum</i> <i>Mesorhizobium tianshanense</i>	<i>Mesorhizobium</i>	
<i>Microbacterium sp.</i>	<i>Microbacterium</i>	
<i>Micrococcus luteus</i> <i>Micrococcus sp.</i>	<i>Micrococcus</i>	Ácidos orgánicos (malárico fumárico) → ↓pH
<i>Ochrobactrum sp.</i>	<i>Ochrobactrum</i>	Ácidos orgánicos Producción fosfatasa Utilización de Fitato
<i>Paenibacillus polymyxa</i> <i>Paenibacillus sp.</i>	<i>Paenibacillus</i>	Excreción de ácidos orgánicos Producción de fosfatasa ↓ pH
<i>Pantoea agglomerans</i> <i>Pantoea ananatis</i> <i>Pantoea conspicua</i> <i>Pantoea sp.</i>	<i>Pantoea</i>	Producción de ácidos orgánicos → ↓pH Utiliza todas las fuentes de C
<i>Pasteurella multocida</i>	<i>Pasteurella</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos Ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Phyllobacterium myrsinacearum</i>	<i>Phyllobacterium</i>	Ácidos orgánicos (cítrico, láctico, glucónico, succínico y propiónico) → ↓ pH
<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Proteus</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos Ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Rahnella aquatilis</i> <i>Rahnella sp.</i>	<i>Rahnella</i>	Hidroxiapatita como única fuente de C Ácidos orgánicos (glucónico, 2-cetoglucónico, y pirúvico) → ↓ pH Utilización de Fitato

<i>Ralstonia picketii</i>	<i>Ralstonia</i>	Movilización de P a partir de fosfato tricálcicos.
<i>Raoultella ornithinolytica</i> <i>Raoultella terrigena</i>	<i>Raoultella</i>	Ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Rhizobium miluonense</i> <i>Rhizobium sp.</i>	<i>Rhizobium</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos Hidroxiapatita como única fuente de C Ácidos orgánicos (Glucónico, 2 – cetoglucónico, pirúvico) → ↓pH
<i>Rhodococcus erythropolis</i>	<i>Rhodococcus</i>	Ácidos orgánicos (cítrico, láctico, glucónico, succínico, propiónico) → ↓pH
<i>Staphylococcus succinus</i> <i>Staphylococcus warneri</i> <i>Staphylococcus sp.</i>	<i>Staphylococcus</i>	Actividad enzimática y excreción de ácidos orgánicos. Ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Sphingobacterium suaedae</i>	<i>Sphingobacterium</i>	Solubilización de fosfatos tricálcicos, dicálcico, monocálcico e hidroxiapatita. Ácidos orgánicos → ↓pH
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> <i>Stenotrophomonas sp.</i>	<i>Stenotrophomonas</i>	Solubilización por medio de actividad enzimática y excreción de ácidos orgánicos. Solubilización de fosfatos tricálcicos Ácidos orgánicos → ↓pH Fuente de C (Sacarosa, fructosa, glucosa y maltosa)
<i>Xanthomonas sp.</i>	<i>Xanthomonas</i>	Ácidos orgánicos → ↓pH Mineralización de P por fosfatasas.

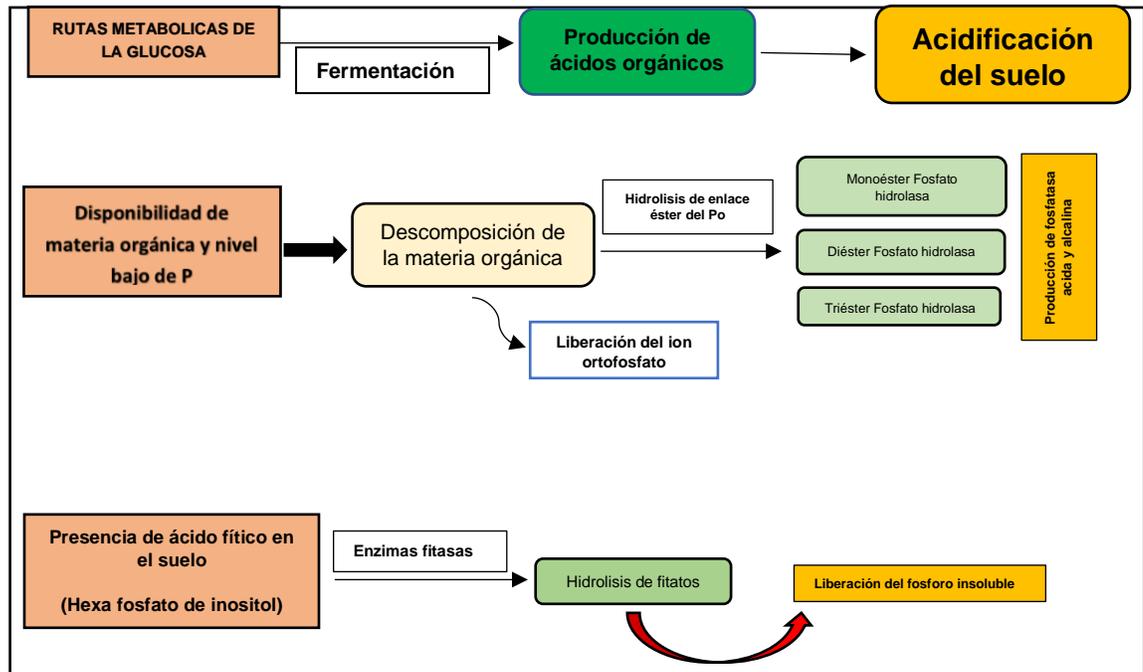
Para finalizar, en cuanto a los restantes géneros de BSF que representan el 50,4% de los estudios seleccionados, se puede observar la tabla 2, siguiendo los patrones en cuanto a los mecanismos de Solubilización de los géneros de mayor importancia citados en los párrafos anteriores por lo que al tener las mismas características pero que los géneros representativos tuvieron un mayor número de cepas distribuidas en un menor número de géneros. Además, se debe mencionar de manera especial, que la especie *Azospirillum halopraeferens* tiene mecanismos distintos, no siguen ese patrón por lo que es relevante una investigación más profunda para esta cepa y así observar que metabolismo utiliza y que otras cepas puede presentar está característica.

5.2. Mecanismos de Solubilización por BSF

Entre las 135 especies de BSF encontradas se evidencia tres mecanismos para la Solubilización de fosfatos, aclarando que hay una mayor tendencia en cuanto a la disminución del pH mediante la secreción de ácidos orgánicos y en segunda medida la producción de enzimas fosfatasas y fitasas como se observa en la figura 3.

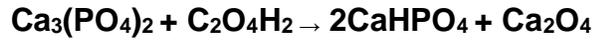
Por lo anterior, varios autores (Acevedo et al. 2014; Awais et al. 2017; Behera et al. 2017; Brahim et al. 2020; Ribeiro – Cardoso, 2012; Chen et al. 2006; Cherchali et al. 2019; Yang et al. 2012; Teymouri et al. 2016; Teng et al. 2019; Dastager et al. 2010; Sahay – Patra, 2014; Parastesh et al. 2019; Pande et al. 2017 entre otros), confirman la disminución del pH mediada por la producción de ácidos orgánicos en el sustrato, siendo este el más usado para la Solubilización de fósforos presente en el suelo para las especies citadas de distintos trabajos, mediado por las rutas metabólicas de la glucosa y que mediante a la posterior fermentación de ésta se da la producción de los ácidos orgánicos, y mediante la presencia de fosfatos tricálcicos favorecen a la conversión de fosfatos solubles para la planta.

Figura 3. Mecanismos de Solubilización de fosfatos descritos por los autores de los trabajos seleccionados en la presente revisión.



De los cuales, lo más representativos según los planteados en los estudios seleccionados, son el ácido 2- cetoglucónico, ácido succínico, ácido oxálico, malónico, ácido malárico fumárico, ácido cítrico, ácido láctico, ácido glucónico, ácido succínico, ácido propiónico, que son producidas por distintas fuentes de carbono, siendo la glucosa (Peix et al, 2009; Sowmya et al. 2020; Kuppusamy et al. 2016) la mayor fuente de carbono y también son utilizados de menor generalidad la manosa, D-ribosa, D-xilosa, galactosa, melibiosa, celobiosa (Peix et al 2009), lactosa, ramnosa, adotinol (Sowmya et al. 2020), sacarosa, fructosa y maltosa (Kuppusamy et al. 2016) , ayudando a la fácil absorción de P.

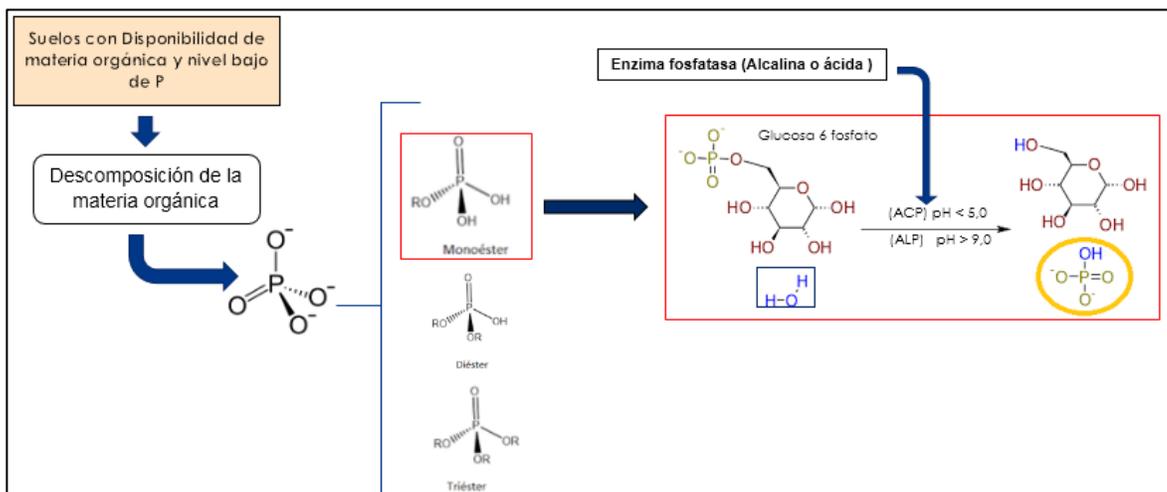
Figura 4. Solubilización de fosfatos inorgánicos. Tomado de Useche (2003)



Fosfato tricálcico + Ácido oxálico → Fosfato dicálcico + oxalato de Ca

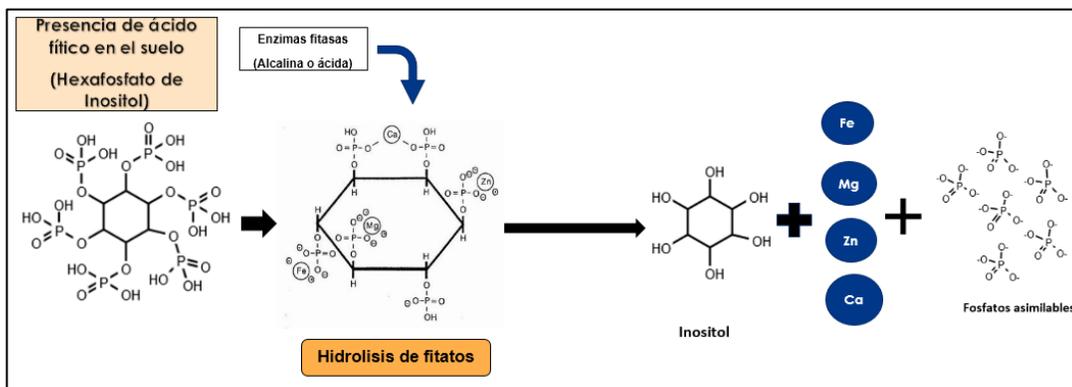
Otro de los mecanismos que también se aprecia en la tabla 1 y 2 es la solubilización de P mediante la enzima fosfatasa, la cual está causada por la relación entre la materia orgánica contenida en el suelo y también la poca disponibilidad de P en el sustrato, lo cual como se observa en la Fig. 3, ya que mediante la descomposición de la materia orgánica se da la liberación del ion ortofosfato, produciendo la hidrólisis de enlace éster del fosforo orgánico la cual se convierte en moléculas básicas como son el monoéster, diéster y triéster fosfato hidrolasa, siendo en la primera molécula que mediada por la acción de la enzima fosfatasa específicas, ya que actúan según el pH sea alcalino o ácido (Ver Fig. 5), logrando que la acción de estas enzimas el aumento significativo de fósforo orgánico.

Figura 5. Acción de las enzimas fosfatasas.



Por último se tiene la Solubilización de fosfatos mediante enzima fitasas, inicialmente en el suelo se encuentra ácido fítico (P-fitato) y se acumulan como reacciones de absorción y precipitación, la presencia de esta y la reacción mediante la enzima fitasas que ayuda a la hidrólisis de fitatos lo que conlleva a la liberación del fósforo insoluble al medio, cabe resaltar que la acción de las enzimas fitasas, como es característica son específicos según sea el pH por lo cual hay enzimas fitasas alcalinas y ácidas.

Figura 6. Acción de las enzimas fitasa.



También en este estudio, se evidencia la producción de ácidos orgánicos desconocido para el género *Arthrobacter*, según Chen (2006), por lo que se abre una puerta para una investigación profunda acerca la producción de estos ácidos orgánicos, las causas que lo producen y su función, lo anterior conlleva a inferir que puede haber más mecanismos de solubilización de fosfatos o rutas metabólicas diferentes a las ya conocidas.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de la literatura científica seleccionada, se obtuvo un total de 145 especies de bacterias con capacidad para solubilizar fosfatos, pertenecientes a 45 géneros, de igual manera se encontró tres mecanismos para llevar a cabo la solubilización de P que son por medio la producción de ácidos orgánicos, enzimas fosfatasas y fitasas, siendo muy específicas de acuerdo a las características del medio, cantidad de fósforos presentes en el suelo, pH y materia orgánica. De acuerdo a las especies reportadas, los cuales comparten similitud en su gran mayoría (71,85%) respecto al mecanismo de solubilización de P por medio de producción de ácidos orgánicos, lo cual es el método de solubilización que prima en el presente estudio, además son el (13,33%) que comparten mecanismo como lo es mediante la producción de ácidos orgánicos y de igual manera solubiliza P mediante la enzima fosfatasa, similar al anterior el (1,48%) solubiliza P mediante enzimas fitasas y ácidos orgánicos. También se resalta 2 cepas (*Ochrobactrum sp.* Y *Streptomyces werraensis*) tienen la capacidad de solubilizar P mediante los tres mecanismos, siendo importante para llevar a cabo estudios posteriores y sacar provecho de acuerdo a la versatilidad metabólica para avances biotecnológicos, social y económico. De igual manera, es importante recalcar que se identificó 17 cepas previamente reportadas como capaces de solubilizar P, pero no se encontró información acerca de los mecanismos que estos realizan para llevar a cabo este proceso, pero que sientan una base muy fuerte para futuras investigaciones para así identificar sus mecanismos para la solubilización de fosfatos.

En este estudio también se pudo identificar 6 géneros de BSF que son de gran importancia para el sostenimiento natural del suelo, la cual se tiene a las cepas que corresponde a los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Serratia* y *Streptomyces* que son las más citadas, además que dentro de estas cepas comparten una característica muy importante la versatilidad metabólica ya

que pueden realizar las dos o tres mecanismos de solubilización de fosfatos ya conocidos, la cual se puede identificar como *S. werraensis*, *B. Cepacia* y *P. putida* correspondiente a los géneros *Streptomyces*, *Burkholderia* y *Pseudomonas* respectivamente, trayendo ventajas para promover normalmente el crecimiento vegetal, el sostenimiento natural del suelo y hábitat, lo que puede ser tomado para el desarrollo de la biotecnología microbiana, la producción agrícola sostenible y además de futuros trabajos de restauración de suelo de manera natural por medio de Microorganismos, en este caso las bacterias solubilizadoras de fosfatos.

Por último, es importante mencionar que la especie *Azospirillum halopraeferens* que no se incluye dentro de los patrones de solubilización previamente explicados, ya que es posible que presente algún mecanismo desconocido como lo cita Ayyaz (2016) por lo que es importante seguir estudiando esta especie o el género de manera general para así poder determinar viabilidad metabólica, además de interés ambiental y económica en un futuro.

REFERENCIAS

ACEVEDO, Elizabeth; GALINDO, Tania; PRADA, Fausto; NAVIA, Mónica; ROMERO, Hernán. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of oil palm (*Elaeis guineensis Jacq.*) in Colombia. En: Applied Soil Ecology. Vól. 80. (2014). p: 26-33.

ANDY, Aruna; MASIH, Sam; GOUR, Vinod. Isolation, screening and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from rhizospheric soils of selected pulses. En: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vól. 27. (2020).

ALONSO CONDE, Rafael Alejandro. Estudio funcional del microbiota asociada a suelos de interés vitivinícola. [Tesis Mester]. Universidad Complutense. (2016). p: 1-25.

ARAÚJO, Víctor; LIRA, Mario; SOUZA, Valdomiro; ARAÚJO, José; FRACETTO, Felipe; ANDREOTE, Fernando; PEREIRA, Arthur; JUNIOR, José; BARROS, Felipe; FRACETTO, Giselle. Bacteria from tropical semiarid temporary ponds promote maize growth under hydric stress. En: Microbiological Research. (2020). p: 240.

AVDALOVIĆ, Jelena; BERSKOSKI, Vladimir; GOJGIC-CVIJOVIC, Gordana MATTINEN, Maija-Liisa; ZILDZOVIĆ, Snežana; VRVIC, Miroslav. Microbial solubilization of phosphorus from phosphate rock by iron-oxidizing *Acidithiobacillus* sp. B2. En: Minerals Engineering. (2014).

AWAIS, Muhammad; TARIC, Rao; ALÍ, Arfan; ALÍ, Qurban; KHAN, Anwar; TABASSUM, Bushra; NASIR, Idrees HUSNAIN, Tayyab. Isolation, characterization and inter-relationship of Phosphate Solubilizing Bacteria from the Rhizosphere of Sugarcane and Rice. En: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vól. 11.(2018).

AYYAZ, Khadija; ZAHEER, Ahmad; RASUL, Ghulam; MIRZA, Muhammad. Isolation and identification by 16S rRNA sequence analysis of plant growth-promoting azospirilla from the rhizosphere of wheat. En: Brazilian Journal of Microbiology. Vól. 47, (2016). p:542–550.

BANERJEE, Samiran; PALIT, Rakhi; SENGUPTA, Chandan; STANDING, Dominic. Stress induced phosphate solubilization by *Arthrobacter* sp. And *Bacillus* sp. Isolated from tomato rhizosphere. En: Australian Journal of crop science. Vól. 4. (2018). P:378-383.

BANIK, S.; DEY, B.K. Phosphate-solubilizing microorganisms of a lateritic soil. I. Solubilization of inorganic phosphates and production of organic acids by microorganisms, isolated in sucrose calcium phosphate agar plates. Zentralbl Bakt Abt II. Vól. 136 (1981). p:478–486.

BANIK, S.; DEY, B.K. Phosphate-Solubilizing Potentiality of the Microorganisms Capable of Utilizing Aluminium Phosphate as a Sole Phosphate Source. Zentralblatt für Mikrobiologie. Vól. 138. (1983). p17-23.

BELTRAN PINEDA, Mayra. Solubilización de fosfato cómo estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. En: Corpoica Cienc. Tecnol. Agropec. Vol. 15. (2014). p101-113.

BEHERA, Bikash; YADAH, H.; SINGH, Santosh; MISHRA, Rashmi; SETHI, B.; DUTTA S.; THATOI, Hrudayanath. Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *Serratia* sp. Isolated from mangrove soil of Mahanadi river delta, Odisha, India-NC-ND license. En: Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. Vól. 15. (2017).

BENBRIK, Brahim; ELABED, Alae; EL MODAFAR, C.; DOUIRA, Allal; AMIR, Soumia; ABDELKARIN, Filalí-Maltouf; EL ABED, Soumya; EL GHACHTOULI, Naima; IRAQUI, Mohammed; SAAD, Ibsouda. Reusing phosphate sludge enriched by phosphate solubilizing bacteria as biofertilizer: Growth promotion of *Zea Mays*. En: journal biocatalysis and agricultural biotechnology. Vól. 30. (2020).

BENEDUZI, Anelise; MOREIRA, Fernanda; COSTA, Pedro; VARGAS, Luciano; LISBOA, Bruno; FAVRETO, Rodrigo; BALDANI, José; PASSAGLIA, Luciane. Diversity and plant growth promoting evaluation abilities of bacteria isolated from sugarcane cultivated in the South of Brazil. Applied Soil Ecology. Vól. 63. (2013). p. 94-104.

BOBADILLA HENAO, Catalina; RINCÓN VANEGAS, Sandra. “Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza”. En: Repositorio Institucional – Pontificia Universidad Javeriana. Pontificia Universidad Javeriana. (2008).

BURBANO-OREJUELA, Hernán. "The Soil and Its Relationship With Ecosystem Services and Food Security". En: Revista De Ciencias Agrícolas, Vol. 33, no. 2, (2016). pp. 117-24.

CHEN, Y.P.; REKHA, P.D.; ARUN-SHEN, A.B.; FO-TING, LAI; WEI-AN, Young C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. En: Applied Soil Ecology. Vól. 34.(2006). p:33-41.

CHERCHALI, Amina; BOUKHELATA. Nadia; KACI, Yahia; ABROUS BELBACHIR, Ouzna; DJEBBAR, REDA. Isolation and identification of a phosphate-solubilizing *Paenibacillus polymyxa* strain GOL 0202 from durum wheat (*Triticum durum Desf.*) rhizosphere and its effect on some seedlings morphophysiological parameters. En: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vól.19. (2019).

CORRALES RAMIREZ, Lucía Constanza; AREVALO GALVEZ, Zuly Yurieth; MORENO BURBANO, Vanessa Estefanía. Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. En: Nova. Vól.12(21) (2014). p 68-79.

DASTAGER, Syed; KUMARAN, Deepa; PANDEY, Ashok. Isolation and characterization of novel plant growth promoting *Micrococcus* sp NII-0909 and its interaction with cowpea. Plant physiology and biochemistry. En: PPB / Société française de physiologie végétale. 48. (2010). p. 987-92.

DAWWAM, G.E.; ELBELTAGY, A.; EMARA, Hassan; ABBAS, i.H.; HASSAN Mohamed. Beneficial effect of plant growth promoting bacteria isolated from the roots of potato. En: Annals of Agricultural Sciences. Vól. 58. (2013).

DIAZ, P.; ALMARAZ, JJ; FERRARA, R.; ALCANTAR, G. "Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga". En: Tierra Latinoamericana, vol. 19, núm. 4, (2001), págs. 327-335.

ESCUADERO-BERIAN, Alfonso. Estudio de Procesos ecológicos para el desarrollo Sostenible del castaño (*castanea sativa mill.*) de la sierra de Francia. Disertación doctoral. Universidad de Salamanca. (2008). p:340.

FANKEM, Henri; NWAGA, Dieudonné; DEUBEL, Annette; DIENG, Lamine; MERBACH, Wolfgang; ETOA, Francois. Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. En: African Journal of Biotechnology. Vól. 5. (2007). p. 2450-2460.

FAO. La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro. (02 de mayo de 2018). Web: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>

FERNÁNDEZ, María Teresa; RODRÍGUEZ, Hilda. El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol.39. (2005), pp. 27-34

FERNANDEZ, Leticia Andrea; ZALBA, Pablo; GOMEZ, Marisa Anahí; SAGARDOY, Marcelo Antonio. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Cienc. Suelo* [online]. vol.23, (2005), pp.31-37.

FUENTES, Bárbara; JORQUEIRA, Milko; MORA, María Luz. Dynamics of phosphorus and phytate-utilizing bacteria during aerobic degradation of dairy cattle dung. En: *Chemosphere*. Vól. 74. (2008). p. 325-331.

GAIND, Sunita; GAUR, A.C. Thermotolerant phosphate solubilizing microorganisms and their interaction with mungbean. En: *Plant and Soil*. Vól. 133. (1991). p. 141-149.

GAYOSSO-BARRAGÁN, Odilon, RODRÍGUEZ-HERRERA, Sergio Alfredo, LÓPEZ-BENÍTEZ, Alfonso y LUEVANOS-ESCAREÑO, Miriam Paulina. Aislamiento e Identificación de bacterias solubilizadoras de fosfatos y su potencial para disolver fosfato tricálcico. En: *Revista de investigación y desarrollo*. Vól. 3. (2007). p. 33-37.

GEORGIEVA, Teodora; EVSTATIEVA, Yana; SAVOY, Valentín; BRATKPVA Svetlana; NIKOLOVA, Dilyana. Assessment of plant growth promoting activities of five rhizospheric *Pseudomonas* strains. En: *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. Vól. 16. (2018). p. 285-292.

GUPTA, Manta; KIRAN, Shashi; GULATI, Arvind; BIKRAM, Singh; RUPINDER, Tewari. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of *Aloe barbadensis* Miller. En: *Microbiological Research*. Vól. 167. (2012). p. 358-363.

HAMIM, Ahlam; BOUKESKASSE, Amal; OUHDOUCH, Yedir; FARROUKI, Abderhmane; BARRIJAL, Said; MICHÉ, Lucie; MRABET, Rachid; DUPONNOIS, Robin; HAFIDI, Mohamed. Phosphate solubilizing and PGR activities of ericaceous shrubs microorganisms isolated from Mediterranean forest soil. En: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vól. 19.(2019).

HARIPRASAD, P.; NIRANJANA, S. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. En: Plant soil. Vól. 316. (2008). p. 13-24.

HAOUAS, Ayoub; EL MODAFAR, C.; DOUIRA, Allal; SAAD, Ibsouda; ABDELKARIM, Filali-Maltouf; ABDELMAJID, Moukhli; AMIR, Soumia. Alcaligenes aquatilis GTE53: Phosphate solubilising and bioremediation bacterium isolated from new biotope "phosphate sludge enriched-compost". En: Saudi Journal of Biological Sciences. Vól. 28. (2021). p. 371-379.

HERRERA-QUITERIO, Angelina; TOLEDO-HERNANDEZ, Erubiel; AGUIRRE-NOYOLA, José Luis; ROMERO, Yanet; RAMOS, Jorge; PALEMON-ALBERTO, Francisco; TORIBIO-JIMENEZ, Jeiry. Antagonic and plant growth-promoting effects of bacteria isolated from mine tailings at El Fraile, México. En: Revista Argentina de Microbiología. Vol. 52. (2020).

ILLMER, F.; SCHINNER, F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. Soil Biology and Biochemistry. Vól. 24. (1992). p. 389-395.

INIA. Jornada de puertas abiertas. Tacuarembó. (2015).

KUCEY, R.; JENSEN H.; LEGGETT M. Microbially mediated increases in plant available phosphorus. En: *Advances in Agronomy*. Vol. 2. (1989). p. 199-228.

KUMAR, Ajay; VANDANA; SINGH, MONIKA; PRATAP SINGH, Prem; SANDEEP KUMAR, SINGH; KUMAR SINGH, Pawan; PANDEY. Kapil. Isolation of plant growth promoting rhizobacteria and their impact on growth and curcumin content in *Curcuma longa* L. En: *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. Vól. 8. (2016). p. 1-7.

KUPPUSAMY, Saranya; PALANISAMI, Thavamani; MALLARAPU, Megharaj; LEE, Yong; NAIDU, Ravi. Isolation and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) degrading, pH tolerant, N-fixing and P-solubilizing novel bacteria from manufactured gas plant (MGP) site soils. En: *Environmental Technology & Innovation*. Vól. 6. (2016). p. 204-219.

LARA, Cecilia; ESQUIVEL, Lina; NEGRETE, Jorge. Bacterias nativas solubilizadoras de fosfato para incrementar los cultivos en el departamento de Córdoba-Colombia. En: *Biotecnología en el sector agropecuario y Agroindustrial*. Vól. 9. (2011). p.114-120.

LIU, Hui; WU, Xiao-Qin; REN, Jia-Hong; YE, Jian-Ren. Isolation and Identification of Phosphobacteria in Poplar Rhizosphere from Different Regions of China. En: *Pedosphere*. Vól.21. (2011). p. 90-97.

LOAIZA, Juan Carlos. El recurso suelo. En: Suelos ecuatorianos. Vól.41. (2010). p. 6-18.

LUNA, M.L.; VEGA, C.; FRANCO, M.O.; VASQUEZ, S.; TRUJILLO, N.; RAMÍREZ, E.; DENDOOVEN, L. Actividad Microbiana en suelos. Avance y Perspectiva (XXX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería). Vol. 21. (2002). p. 328–331.

MARZBAN, Abdolrazagh; TEYMOURI, Manouchehr; EBRAHIMIPOUR, Gholamhossein; KARKHANE, Maryam. Metal resistant and phosphate Solubilizing bacterium improves maize (*Zea mays*) growth and mitigates metal accumulation in plant. En: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vól. 8. (2016). p.13-17.

MARZBAN, Abdolrazagh; TEYMOURY, Manouchehr; AKHTARI, JAVAD; KARKHANE, Maryam. Assessment of phosphate solubilization activity of rhizobacteria in mangrove forest. En: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vól. 5. (2016). 168-172.

MOHER, David; LIBERATI, Alessandro; TETZLAFF, Jenifer; ALTMAN, Douglas C.; THE PRISMA GROUP. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. En: Physical Therapy. Vól. 89. (2009). p.873-880.

MONI PHILIP, Jacob Kizhakedathil; SUBATHRA, Devi C. Rhizospheric bacteria isolated from the agricultural fields of Kolathur, Tamilnadu promotes plant growth in mustard plants. En: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vól. 16. (2018). p. 293-302.

MOURA, Rute S.; MARTÍN, Juan F.; MARTÍN, Alicia; LIRAS, Paloma. Substrate Analysis and molecular cloning of the extracellular alkaline phosphatase Of *Streptomyces griseus*. En: Microbiology. Vól. 147. (2001). p. 1525-1533.

MUÑOZ TORRES, Patricio Alberto. Microorganismos como una alternativa al uso de agroquímicos. En: Idesia (Arica). Vól. 36. (2018). p. 3-5.

NAUTIYAL, Shektar; BHADAURIA Shipra; KUMAR, Pradeep; LAL, Honda; MONDAL Rajesh; VERMA Dinesh. Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from alkaline soils. En: FEMS Microbiology Letters. Vól.182. (2000). p.291-296.

OLIVEIRA, Chhristiane; ALVES V.M.C.; MARRIEL, Ivanildo; GOMES, E.A.; SCOTTI, María Rita; CAMEIRO, Newton; GUIMARÃES, Claudia; SCHAFFERT, Robert; SA, N.M.H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. En: Soil Biology and Biochemistry. Vól.41. (2009). p. 1782-1787.

PANDA, Bhabatarini; RAHMAN, H; PANDA, Jagabandhu. Phosphate solubilizing bacteria from the acidic soils of Eastern Himalayan region and their antagonistic effect on fungal pathogens. En: Rhizosphere. Vól. 2. (2016). p. 62-71.

PANDE, A.; PANDEY, P.; MEHRA, S.; SINGH, M.; KAUSHIK, S. Caracterización fenotípica y genotípica de bacterias solubilizadoras de fosfato y su eficiencia en el crecimiento del maíz. En: ingeniería genética y biotecnología. Vól. 15. (2017). p. 379-391.

PARATESH, Faezeh; ALIKHANI, Hossein; ETESAMI, Hassan. Vermicompost enriched with phosphate-solubilizing bacteria provides plant with enough phosphorus in a sequential cropping under calcareous soil conditions. *Journal of Cleaner Production*. Vól. 221. (2019). p. 27-37.

PAREDES MENDOZA, Marianela; ESPINOSA VICTORIA, David. Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubiliza fosfato: Una revisión crítica. *Terra latinoamericana*. Vól. 28. (2009), pp. 61 – 70.

PARK, Jin Hee; BOLAN, Nanthi; MEGHARAJ, Mallavarapu; NAIDU, Ravi. Isolation of phosphate solubilizing bacteria and their potential for lead immobilization in soil. En: *Journal of hazardous materials*. Vól. 185. (2011). p. 829-836.

PAUL, Dipak; SINHA, Sankar. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* KUPSB12 with antibacterial potential from river Ganga, India. En: *Annals of Agrarian Science*. Vól. 15. (2017). p. 130-136.

PÉREZ, Elizabeth; SULBARAN, Miguel; BALL, Mercedes; YARZABAL, Luis. Isolation and Characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria Naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. En: *Soil Biology and Biochemistry*. Vól. 39. (2007). p. 2905-2914.

PEIX, Álvaro, LANG, Elke; VERBANG, Susanne; SPRÖER, Cathrin; RIVAS, Paul; RODRÍGUEZ, Ignacio; MATEOS, Pedro; MARTINEZ -MOLINA, Eustoquio; RODRÍGUEZ-BARRUECO, Claudino; VELASQUEZ, Esdras. *Acinetobacter* strains

IH9 and OCI1, two rhizospheric phosphate solubilizing isolates able to promote plant growth, constitute a new genomovar of *Acinetobacter calcoaceticus*. En: *Systematic and applied microbiology*. Vól. 32. (2009). p. 334-341.

PUNAM, Kumari; MUKESH, Meena; UPADHYAY, R.S. Characterization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) Isolated from the rhizosphere of *Vigna radiata* (*mung bean*). En: *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. Vól. 16. (2018). p. 155-162.

RASUL, María; YASMIN, Sumera; YAHYA, Mahreen; BREITKREUZ, Claudia; TARKKA, Mika; REITZ, Thomas. The wheat growth-promoting traits of *Ochrobactrum* and *Pantoea* species, responsible for solubilization of different P sources, are ensured by genes encoding enzymes of multiple P-releasing pathways. En: *Microbiological Research*. Vól. 246. (2021).

RIBEIRO, Carlos; CARDOSO, Elke. Isolation, selection and characterization of root-associated growth promoting bacteria in Brazil Pine (*Araucaria angustifolia*). En: *Microbiological research*. Vól. 167. (2011). p. 69-78.

RIVAS, Raúl; PEIX, Álvaro; MATEOS, Pedro; TRUJILLO, Martha; MARTINEZ - MOLINA, Eustoquio; VELASQUEZ, Esdras. Biodiversity of populations of phosphate solubilizing rhizobia that nodulates chickpea in different Spanish soils. En: *Plant and Soil*. Vól. 287. (2007). p. 23-33.

ROSAS, Susana; ANDRÉS, Javier; ROVERA, Marisa; CORREA, Néstor. Phosphate-solubilizing *Pseudomonas putida* can influence the rhizobia–legume symbiosis. En: *Soil Biology and Biochemistry*. Vól. 38. (2006). 3502-3505.

SAHAY, Ratna; PATRA, D. Identification and performance of sodicity tolerant phosphate solubilizing bacterial isolates on *Ocimum basilicum* in sodic soil. En: *Ecological Engineering*. Vól. 71. (2014). p. 639-643.

SALAZAR-IGLESIAS, Sergio. Estudio de procesos Ecológicos para el desarrollo sostenible del Castaño (*castanea sativa* mill.) de la sierra de Francia. Universidad de Salamanca [Tesis Doctoral]. (2008). p. 340.

SERNA POSSO, Eduardo José. Evaluación de la producción de ácidos orgánicos en microorganismos rizosféricos y sus efectos en la solubilización de fosfatos. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. (2016), pp. 1 – 91.

SHARMA, Bebé; SAXENA, Sonika; DATTA, Apenas; ARORA, SUDIPTI. Spectrophotometric Analysis of Degradation of Chlorpyrifos Pesticide by Indigenous Microorganisms Isolated from Affected Soil. En: *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vól. 5. (2016). p. 742-749.

SOLANKI, Manu; KUNDU, B.S.; NEHRA, Kiran. Molecular diversity of phosphate solubilizing bacteria isolated from the rhizosphere of chickpea, mustard and wheat. En: *Annals of Agrarian Science*. Vól. 16. (2018). p. 458-463.

SOWMYA, Shreedhar, Sowmya; REKHA, P.D.; UASHODHARA, I.; KARUNAKARA, Naregundi; ARUN, A.B. Uranium tolerant phosphate solubilizing bacteria isolated from Gogi, a proposed uranium mining site in South India. En: Applied Geochemistry. Vól. 114. (2020).

SON, Hong-Joo; PARK, Geun-Tae; CHA, Mi-Sun; HEO, Moon-Soo. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. En: Bioresource technology. Vól. 97. (2006). p. 204-210.

TAKTEK, Salma; TREPANIER, Martin; SERVIN, Paola; ST-AMAUD, Marc; PICHÉ, Yves; FORTIN, J- André; ANTOUN, Hani. Trapping of phosphate solubilizing bacteria on hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* DAOM 197198. En: Soil Biology and Biochemistry. Vol. 90. (2015). p. 1-10.

TANG, W.C.; WHITE, J. C.; ALEXANDER, M. Utilization of sorbed compounds by microorganisms specifically isolated for that purpose. Appl Microbiol Biotechnol. Vol. 49. (1998). p. 17-21.

TAO, Guang Can; TIAN, Shun Jun; CAI, Miao Ying; XIE, Guang-hui. Phosphate-solubilizing and -mineralizing abilities of bacteria isolated from soils. Pedosphere. Vól. 18. (2008). P. 515–523.

TAPIAS-VASQUEZ, Irán; SÁNCHEZ-CRUZ, Ricardo; ARROYO-DOMINGUEZ, Marisol; LIRA-RUAN, Verónica; SANCHEZ-REYES, Ayixón; SÁNCHEZ-CARBENTE, María; PADILLA-CHACÓN, Daniel; BATISTA-GARCIA, Ramón;

FOLCH-MALLOL, Jorge. Isolation and characterization of psychrophilic and psychrotolerant plant-growth promoting microorganisms from a high-altitude volcano crater in Mexico. En: Microbiol. Vól. 232. (2020).

TENG, Zedong; SHAO, Wen; ZHANG, Keyao; HUO, Yehoqian; LI, Mi. Characterization of phosphate solubilizing bacteria isolated from heavy metal contaminated soils and their potential for lead immobilization. En: Journal of environmental management. Vól. 231. (2019). p. 189-197.

VALERO N. Potencial biofertilizante de bacterias diazotrofas y solubilizadoras de fosfatos asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*). [Tesis de maestría] Maestría Interfacultades en Microbiología, Universidad Nacional de Colombia. 2003.

VELETTI, Lucio; IRIARTE, Liliana; FABRA, Adriana. Growth promotion of rapeseed (*Brassica napus*) associated with the inoculation of phosphate solubilizing bacteria. En: Applied Soil Ecology. Vól. 132. (2018). p. 1-10.

VARGAS RAMÍREZ, S.J. Microorganismos solubilizadores de fosfato en suelos. [Tesis de grado]. Universidad Industrial de Santander. (2012). p. 1-59.

XU, Jia-Cheng; HUANG, Li-Min; CHEN, Chengyu; WANG, Jing; LONG, Xi-Xiang. Effective lead immobilization by phosphate rock solubilization mediated by phosphate rock amendment and phosphate solubilizing bacteria. En: Chemosphere. Vól. 237. (2019).

YANG, Pei-Xiang; MA, Li; CHEN, Ming-Hui; XI, Jia-Qin; HE, Feng; DUAN, Chang-Qun; MO, Ming-He; FANG, Dun-Huang; DUAN, Yan-Qing; YANG, Fa-Xiang. Phosphate Solubilizing Ability and Phylogenetic Diversity of Bacteria from P-Rich Soils Around Dianchi Lake Drainage Area of China. En: *Pedosphere*. Vól. 22. (2012). P. 707-716.

YOU, Man; FANG, Shumei; MACDONALD, Jacqueline; XU, Jianping; YUAN, Ze-Chun. Isolation and characterization of *Burkholderia cenocepacia* CR318, a phosphate solubilizing bacterium promoting corn growth. En: *Microbiological research*. Vól. 233. (2019). p. 1-8.

ZAHEER, Ahmad; MALIK, D.R.; SHER, Ahmad; MANSOOR, Muther; MEHMOOD, Asim; KHAN, Sami; ASHRAF, Muhammad; MIRZA, Zeenat; KARIM, Sajjad; RASOOL, Mahmood. Isolation, characterization and effect of phosphate-zinc-solubilizing bacterial strains on chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth. En: *Saudi Journal of Biological Sciences*. Vól. 26. (2019). p.1061-1067.

ZHAO, Ke; PENTTINEN, Petri; ZHANG, Xiaoping; AO, Xiaoping; LIU, Maoke; YU, Xiumei; CHEN, Qiang. Maize rhizosphere in Sichuan, China, hosts plant growth promoting *Burkholderia cepacia* with phosphate solubilizing and antifungal abilities. En: *Microbiological research*. Vól. 169. (2013). p. 76-82.

ZHIGUANG, Liu; YUNCONG, C; SHOUAN, Zhang; YUQING, Fu; XIAOHUI, Fan; JAIMIN S.; PATEL, Min-Zhang. Characterization of phosphate-solubilizing bacteria isolated from calcareous soils. En: *Applied Soil Ecology*. Vol. 96. (2015). p. 217-274

ANEXOS

Anexo 1. Extracción de información entre los artículos seleccionados

CEPAS DE BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS	MECANISMOS DE SOLUBILIZACION	AUTORES
<i>Enterobacter</i> <i>Rahnella</i> <i>Bacillus</i> <i>Escherichia</i> <i>Ochrobactrum</i> <i>Streptomyces</i> <ul style="list-style-type: none"> • Géneros 		Fuentes et al. 2008
<i>Pseudomonas putida</i> <i>Pseudomonas sp.</i>	Producción de ácidos orgánicos y fosfatasas ácidas (Illmer et al. 1985)	Georgina et al. 2018
<i>Bacillus firmus</i> <i>Bacillus circulando</i> <i>Bacillus subtilis</i>	Solubilización de fósforos a partir del fósforos tricálcicos, de aluminio y férrico, además de producción de ácidos orgánicos (ácido 2-cetoglucónico, ácido succínico, ácido oxálico y malónico)	Banik and Dey, 1981
<i>Bacillus subtilis</i>	Alta eficiencia en la Solubilización de fósforos tricálcicos en incubación durante 7 a 10 días, mediante la producción de ácidos orgánicos como oxálico, succínico y 2-cetogluconico.	Banik and Dey, 1983
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Agrobacterium tumefaciens</i> <i>Burkholderia thailandensis</i> <i>Klebsiella sp.</i> <i>Azotobacter chroococcum</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Producción de fósforos tricálcicos solubilizados, mostrando tolerancia a la salinidad del 4 % de NaCl.	Kumar et al. 2016
<i>Pseudomonas sp.</i>	Solubilización de fosforos inorgánicos (adaptados a condiciones deficientes de P), mediante producción de ácido gluconico. (7,5 $\mu\text{M ml}^{-1}$)	P. Illmer and F. Schinner, 1991
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Acinetobacter Pitti</i>	Capacidad de Solubilización de fósforos tricálcicos y Solubilización de fósforos inorgánicos	Kumari et al. 2018

<i>Micrococcus sp.</i>	Solubilización de fósforos de calcio produciendo ácidos orgánicos diferentes (ácido malárico y fumárico) disminuyendo el pH de 7,0 a 4,0 y 3,0.	S. G. Dastager et al. 2010
<i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> <i>Gluconacetobacter sp.</i> <i>Burkholderia sp.</i>	Solubilización de fosforos mediante producción de ácidos orgánicos.	Beneduzi et al. 2013
<i>Azospirillum sp. Azok2</i> <i>Azospirillum sp. Azok1</i> (* <i>Azospirillum halopraeferens</i>)	Producción de ácidos orgánicos como el acético, cítrico, láctico y succínico. La Solubilización de fósforos mediadas por el metabolismo de La glucosa. (* No utiliza glucosa y no produce ácido orgánico, solubiliza fosfato inorgánico insoluble por un mecanismo desconocido.	Khadija et al. 2013
<i>Achromobacter xylooxidans</i> <i>Bacillus cereus</i>	Solubilización de fosfato inorgánico, mediante el aumento del contenido del fósforo.	Dawwan et al. 2013
<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Bacillus subtilis</i>	Utilizan fósforos inorgánicos, como los fósforos tricálcicos como única fuente de P. Hidrolizan P inorgánico mediante la enzima fosfatasa.	Liu et al. 2010
<i>Pantoea agglomerans</i>	Producción de P soluble entre los 20 y 30 °C, Solubilización de P mediante glucosa y todas las fuentes de C a excepción de adonitol y lactosa, acompañado por el descenso del pH de 2,6 a 5,7.	H.J. Son et al. 2006
<i>Familia Coccidae</i> <i>Familia Pseudomonadaceae</i>	Convierten la glucosa en ácidos estables como el ácido fórmico o el ácido acético y el ácido láctico como productos finales, los ácidos producidos para disminuir el pH a 4,5, que es más bajo que el inicial.	Andy A. K. et al. 2020
<i>Pseudomonas sp.</i>	mostró capacidad para solubilizar fosforos inorgánicos a bajas temperaturas, mineralizar el fosfato de origen orgánico (ácidos húmicos) y	I. Tapia-Vázquez, et al. 2020

	solubilizar fuentes inorgánicas, proporcionando.	
<i>Streptomyces alboflavus</i>	Solubilización de Fosfato bicalcio.	V.L.V. Prudêncio de Araújo, et al. 2020.
<i>Streptomyces sp.</i>	Acidificación del medio externo o a la producción de sustancias quelantes que aumentan la solubilización del fosfato. Las PGPR secretan diferentes tipos de ácidos orgánicos que resultan en la disminución del pH del suelo en la rizosfera y que consecuentemente ayuda a la liberación de las formas ligadas de fosfato como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ en el suelo.	Moni Philip Jacob Kizhakedathil and Subathra Devi C, 2018.
<i>Acidithiobacillus sp.</i>	La solubilización del fósforo de la roca fosfórica se asoció con la disminución observada del pH, que se correlacionó directamente con la concentración de ácido sulfúrico producido por la bacteria y de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ en el medio de lixiviación.	J. Avdalovic' et al 2012.
<i>Enterobacter aerogenes</i> <i>Rahnella sp.</i> <i>Rahnella aquatilis</i>	relacionada principalmente con una disminución del pH del medio de cultivo, probablemente causada por la producción de ácidos orgánicos (cítrico, el propiónico, el glucónico, el láctico y el succínico) por parte de las bacterias.	C.M. Ribeiro, E.J.B.N. Cardoso, 2012
Géneros <i>Chryseobacterium</i> <i>Bacillus</i> <i>Staphylococcus</i> <i>Serratia</i> <i>Stenotrophomonas</i> <i>Acinetobacter</i>	mecanismo de solubilización se determinó mediante la adición de un activador de fosfatasas (MgSO_4); solubilizó el fosfato a través de la actividad enzimática, mediante la producción de ácidos orgánicos y utilizando ambos mecanismos.	Herrera-Quiterio et al. 2020.
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>genomovar rhizosphaerae</i> .	Capaces de producir ácido a partir de glucosa, manosa, D-ribose, D-xilosa, galactosa, melibiosa y celobiosa, y utilizar como fuente de carbono D-xilosa, D-ribose, D-fucosa, melibiosa, DL-lactato, quinato, isobutirato, L-tirosina, L-	Peix et al. 2009

	histidina, L-alanina, L-arginina, L-aspartato y L-tartrato.	
<i>Alcaligenes aquatilis</i> GTE53	Son varios los mecanismos implicados en la biotransformación del P, incluyendo el mecanismo de acidificación por ácidos orgánicos, la quelación con ligandos orgánicos (por ejemplo, sideróforos), las reacciones redox, la síntesis de fosfatasas y la producción de polímeros extracelulares, produjo 162,8 y 247,4 mgL ⁻¹ de fosfato soluble, respectivamente, a partir de Lodo de fosfato (PS) y roca fosfórica (PR) tras 6 días de incubación. En los dos primeros días, el pH descendió de 6,8 a 3,96 y 3,86 en los medios de PS y PR, respectivamente, lo que condujo a la disolución de PS y PR. La solubilización del Ca-P y la mineralización del P orgánico fueron acompañadas por reacciones secundarias en las que el P soluble fue acompañado por iones de Fe y Al.	Haouas et al. 2020.
<i>Pseudomonas putida</i> Ws3	capaz de producir catalasa y peroxidasa. La bacteria podía utilizar citrato, glucosa y sacarosa como fuente de carbono y crecía en medios suplementados con 0-10% de NaCl-.	Teymouri et al. 2016.
(*) <i>Burkholderia</i> sp. (**) <i>Bacillus</i> sp. (***) (+) <i>Burkholderia cepacia</i> . (****) <i>Streptomyces platensis</i> (***) <i>Pantoea agglomerans</i>	(*) (**) (****) solubilizadoras de P más eficientes a partir de la solución de cultivo de la fuente de P-Ca. (*) mayor reducción del pH en la solución de crecimiento a 4,46. (***) solubilización del fosfato de aluminio. (+) mineralización de P orgánico a partir de ácido fítico (P-fitato.).	Oliveira et al. 2009

<p>(*) <i>Staphylococcus warneri</i> Género <i>Burkholderia</i> Género <i>Klebsiella</i></p>	<p>Un rápido crecimiento entre las 4 y las 16 horas y alcanzó 9,8 log (UFC mL-1). El fosfato solubilizado aumentó de 32 a 841 mg mL-1, y el pH disminuyó de 7,0 a 4,9. (*) Produjeron una menor cantidad de ácido glucónico, pero sintetizaron ácidos cítrico, succínico y acético.</p>	<p>Acevedo et al. 2014.</p>
<p><i>Pseudomonas dimnuta</i> (*) <i>Xanthomonas sp.</i> (*) <i>Exiguobacterium sp.</i></p>	<p>(*) disminución del pH de 8,0 a 4,9, por la producción microbiana de ácidos orgánicos y la mineralización del P orgánico por las fosfatasas ácidas</p>	<p>R. Sahay, D.D. Patra, 2014</p>
<p><i>Serratia sp.</i></p>	<p>Solubilización de fosfatos de la cepa aumentó de 0,0 lg/ml a 44,84 lg/ml a medida que el pH disminuía de 7,0 a 3,15 en el medio NBRIP. producción de fosfatasa ácido.</p>	<p>Behera et al. 2017.</p>
<p><i>Acinetobacter sp.</i> <i>Bacillus sp.</i> <i>Pseudomonas sp.</i></p>	<p>Disminución del pH. Producción de ácidos orgánicos. Aumento de la concentración de P.</p>	<p>Teymouri et al. 2016</p>
<p><i>Pantoea sp. MR1</i> (**) <i>Ochrobactrum sp. SSR</i></p>	<p>Solubilización de P inorgánico. solubilizaban fosfato de roca y fitato in vitro. (**) Producción fosfatasa a la producción de ácido glucónico.</p>	<p>Rasul et al. 2021</p>
<p><i>Streptomyces sp.</i> <i>Streptomyces thermocarboxydus</i> <i>Streptomyces labedae</i> <i>Streptomyces fimbriatus</i> <i>Streptomyces werraensis</i> <i>Burkholderia ambifaria</i> <i>Rhizobium sp.</i> <i>Paenibacillus sp.</i></p>	<p>Excreción de ácidos orgánicos. Producción de fosfatasas a niveles altos. Reducción del pH del medio de cultivo mediante la acción de la fosforilación y la producción de ácidos.</p>	<p>Hamim, et al. 2019</p>
<p><i>Pseudomonas sp.</i> <i>Stenotrophomonas sp</i> <i>Agrobacterium sp</i></p>	<p>Fuentes de C (sacarosa, fructosa, glucosa y maltosa)</p>	<p>Kuppusamy et al. 2016.</p>
<p><i>Enterobacter ludwigii</i> <i>Enterobacter gergoviae</i> <i>Cedecea davisae</i> <i>Enterobacter asburiae</i> <i>Leclercia adecarboxylat</i> <i>Enterobacter amnigenus</i> <i>Raoultella terrigena</i> <i>Raoultella ornithinolytica</i></p>	<p>Producción de ácidos orgánicos, que disminuyeron el pH del medio desde el 6,8-7,0 inicial a 4,15-5,09.</p>	<p>Yang et al. 2012</p>

<p><i>Enterobacter cancerogenus</i> <i>Serratia ureilytica</i> <i>Serratia marcescens</i> subsp. <i>sakuensis</i> <i>Serratia grimesii</i> <i>Pantoea conspicua</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Pseudomonas moraviensis</i> <i>Pseudomonas koreensis</i> <i>Pseudomonas corrugata</i> <i>Pseudomonas frederiksbergensis</i> <i>Pseudomonas mandelii</i> <i>Pseudomonas lini</i> <i>Pseudomonas brassicacearum</i> subsp. <i>neaurantiaca</i> <i>Pseudomonas mediterranea</i> <i>Burkholderia phytofirmans</i> <i>Arthrobacter ramosus</i> <i>Arthrobacter nitroguajacolicus</i> <i>Arthrobacter pascens</i> <i>Brevibacterium frigoritolerans</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus aryabhatai</i></p>		
<p>(*) <i>Pseudomonas guariconensis</i> (**) <i>Bacillus populi</i></p>	<p>(*) Máxima producción de los ácidos acético, oxálico y glucónico. (**) Máxima producción de ácidos cítrico, málico, láctico y succínico.</p>	Zaheer et al. 2019
<p><i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Rhizobium sp.</i> <i>Acinetobacter sp.</i> <i>Pseudomonas oryzihabitans</i></p>	<p>Temperatura óptima de 28 °C. Clara relación entre la acidificación del sobrenadante (ácidos orgánicos) y la solubilización de P a partir de Ca₃(PO₄)₂.</p>	Liu et al. 2015
<p><i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Staphylococcus succinus</i> <i>Microbacterium sp.</i> <i>Pseudomonas moraviensis</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus pumilus</i> <i>Staphylococcus sp.</i> <i>Micrococcus luteus</i> <i>Delftia tsuruhatensis</i>.</p>	<p>secreción de ácidos orgánicos</p>	Panda et al. 2016

<p><i>Rhodococcus erythropolis</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Arthrobacter ureafaciens</i> <i>Arthrobacter sp.</i> <i>Gordonia sp.</i></p> <p><i>Chryseobacterium sp.</i> <i>Phyllobacterium myrsinacearum</i> <i>Delftia sp.</i></p>	<p>Caída significativa del pH (a 4,9 y 6,0) desde un pH inicial de 6,8-7,0 después de 72 h.</p> <p>Produjeron ocho ácidos orgánicos diferentes, de los cuales 3 eran desconocidos (ácido cítrico, ácido láctico, ácido glucónico, ácido succínico, ácido propiónico).</p> <p>A. Ureafaciens y B. megaterium (Ácido cítrico).</p> <p>S. marcescens (ácido cítrico b+ otros ácidos)</p> <p>B. Megaterium (ácido propiónico)</p>	<p>Chen et al. 2006</p>
<p><i>Pseudomonas aeruginosa</i></p>	<p>Producción de ácidos orgánicos o a la producción de polisacáridos o a la actividad de las enzimas fosfatasa de las cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato.</p>	<p>Dipak – Sankar, 2016.</p>
<p><i>Serratia marcescens</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Bacillus cereus</i></p>	<p>El pH del suelo disminuyó notablemente.</p> <p>Liberación de muchos compuestos orgánicos intermedios en el sistema del suelo (Yagi et al., 2003), que se sabe que están involucrados en la alteración del pH del suelo.</p> <p>Actividad de la fosfatasa alcalina aumentó al final del periodo de incubación.</p>	<p>Parastesh et al.2019</p>
<p><i>Paenibacillus polymyxa</i> GOL 0202</p>	<p>Excreta ácidos orgánicos en el medio, como ácido glucónico, ácido cítrico u otros, disminuyendo el pH del medio y solubilizando los fosfatos minerales.</p>	<p>Cherchali, et al. 2019</p>
<p><i>Burkholderia cepacia</i> (*) <i>Alcaligenes aquatilis</i>.</p>	<p>Producción de ácidos fórmico y glucónico.</p> <p>(*) Producción de ácido cítrico.</p>	<p>Pande et al. 2017</p>

	El pH en el medio de cultivo disminuyó hasta $3,08 \pm 0,08$ desde un pH inicial de 7,11.	
<i>Rhizobium miluonense</i> CC-B-L1 <i>Burkholderia anthina</i> R7-112 <i>Burkholderia sp.1</i> IT1 <i>Dyella japonica</i> NBRC 104185 <i>Bacillus pumilus</i> R71 <i>Rahnella Sp. WMR15</i> <i>Burkholderia phenazinium</i> A1	Hidroxiapatita como única fuente de P. Producción de tres ácidos orgánicos diferentes, ácido glucónico, ácido 2-cetoglucónico y ácido pirúvico. Producción de enzimas fosfatasas ácidas, alcalinas y doradas para la mineralización de P.	Taktek et al. 2015
<i>Leclercia adecarboxylata</i> <i>Pseudomonas putida</i>	pH se redujo drásticamente y osciló entre 7,20 y 4,52. Se identificaron varios ácidos orgánicos de bajo peso molecular, como el ácido glucónico (GA), el ácido oxálico (OA), el ácido malónico (MA), el ácido acético (AA), el ácido fórmico (FA), el ácido cítrico (CA) y el ácido succínico (SA) . los PSBs desarrollaron una enzima que puede liberar fosfato inorgánico de los complejos organofosforados.	Teng et al. 2019
(*) <i>Pantoea ananatis</i> HCR2 (**) <i>Bacillus thuringiensis</i> GL-1	Caída significativa del pH (2,61 y 2,51). (*) Producción de ácidos glucónico, citrato, succínico, a-cetoglutárico y pirúvico. (**) Producción de ácidos orgánicos glucónico, citrato, a-cetoglutárico y succínico.	J.-c. Xu et al. 2019.
<i>Arthrobacter sp.</i> <i>Pantoea agglomerans</i> <i>Serratia nematodiphila</i> <i>Bacillus safensis</i> <i>Bacillus sp.</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus pumilus</i>		Valetti et al. 2018

<i>Burkholderia cenocepacia</i> CR318	solubilización de fosfato inorgánico producción y secreción de ácidos orgánicos (Ácido cítrico)	You M et al. 2019
<i>Curtobacterium</i> sp. <i>Acinetobacter</i> sp. <i>Serratia</i> sp. <i>Enterobacter</i> sp. <i>Pantoea</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp.	Caída del pH del medio desde un valor inicial de 6,9 hasta valores de pH entre 3,9 y 6,3. La glucosa fue utilizada como única fuente de carbono por los 14 aislados, mientras que el adonitol, la ramnosa y la lactosa se utilizaron con menos frecuencia como única fuente de carbono. Producción de ácidos orgánicos a saber de cítrico, láctico, propiónico, oxálico, malónico, succínico, glucónico, 2-cetoglucónico, isovalérico, isobutírico y acético.	S. Sowmya et al. 2020
<i>Bacillus cereus</i> <i>Pseudomonas</i> Sp. <i>Sphingobacterium suaedae</i> <i>Bacillus pumilus</i>	Capacidad para solubilizar las diferentes formas de fosfato estudiadas; fosfato monocálcico, dicálcico y tricálcico e hidroxiapatita tanto en medio sólido como líquido NBRIP. disminución del pH del medio de crecimiento debido a la producción de ácidos orgánicos.	Brahim et al. 2020.
(*) <i>Burkholderia cepacia</i> (**) <i>Pantoea ananatis</i> (*) <i>Pantoea agglomerans</i> (*) (+) <i>Serratia marcescens</i> (**) <i>Ralstonia pickettii</i> (**) <i>Burkholderia vietnamiensis</i>	La solubilización de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ siguió dos cinéticas diferentes: (*) La mayor parte del $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ se solubilizó completamente después de 12 horas. (**) solubilización completa después de 24 horas. Movilización de P a partir de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 < \text{Al-P}$ y Fe-P .	Pérez et al. 2007

	<p>Clara relación entre el crecimiento bacteriano, la acidificación del sobrenadante y la solubilización del P a partir del $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.</p> <p>(+) Producción de ácido cítrico y oxálico.</p>	
<p>(*) <i>Pseudomonas synxanthal</i> (*) <i>Burkholderia gladioli</i> <i>Enterobacter hormaeche</i> (*) <i>Serratia marcescens</i></p>	<p>Liberación de fósforo al disminuir el pH del medio.</p> <p>Producción de ácidos orgánicos (glucónico, cetoglucónico, oxálico, succínico, etc.)</p> <p>(*) Actividad fosfatasa.</p> <p>Producción de metabolitos secundarios como IAA y sideróforo.</p>	M. Gupta et al. 2012
<p><i>Enterobacter cloacae</i> <i>Pantoea sp.</i></p>	<p>El pH del cultivo osciló entre 4,31 y 7,60.</p> <p>Reducción del pH mediante la producción de ácido orgánico.</p> <p>pH fue el factor más importante en la solubilización, seguido por la concentración de ácido orgánico.</p> <p>Actividad de la fosfatasa ácida producida por las bacterias aisladas osciló entre 0,0034mM y 0,1420mM.</p> <p>Producción de ácidos orgánicos (ácidos acético, pirúvico, fumárico y cítrico).</p>	J.H. Park et al. 2011
<p><i>Aeromonas hydrophila</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Enterobacter aerogenes</i> <i>Burkholderia cepacia</i> <i>Proteus vulgaris</i> <i>Pasteurella multocida</i> <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> <i>Burkholderia mallei</i> <i>Burkholderia pseudomallei</i> <i>Citrobacter freundii</i></p>	<p>Capacidad de solubilizar fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.</p> <p>Variación del pH.</p> <p>Secreción de ácido orgánico.</p>	Awais et al. 2017

<i>Acinetobacter lwoffii</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Enterobacter cloacae</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Klebsiella oxytoca</i>		
<i>Serratia sp.</i>	La capacidad de solubilización de fosfatos de la cepa aumentó de 0,0 lg/ml a 44,84 lg/ml a medida que el pH disminuía de 7,0 a 3,15. Producción de ácidos orgánicos (láctico, málico y acético).	Behera et al. 2017
<i>Burkholderia cepacia</i>	caída significativa del pH desde el 7,0 inicial hasta el 3,12-5,24. Utiliza dextrosa, manosa, almidón, xilosa y galactosa como únicas fuentes de carbono.	K. Zhao et al. 2014
<i>Burkholderia sp.</i> <i>Bacillus senegalensis</i> <i>Streptomyces galileus</i> <i>Arthrobacter oxydans</i>		Solanki et al. 2006
<i>Curtobacterium sp.</i> <i>Staphylococcus sp.</i> <i>Burkholderia sp.</i>		Barriuso et al. 2004
<i>Mesorhizobium tianshanense</i> <i>Mesorhizobium ciceri</i> <i>Mesorhizobium mediterraneum</i>		Rivas et al. 2006
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus circulans</i>	La solubilización del fosfato insoluble fue causada por la producción de ácidos orgánicos por parte de diferentes PSM, dando lugar a una disminución del pH del filtrado.	Gaind and Gaur, 1989
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>Bacillus laevolacticus</i> <i>Klebsiella terrigena</i> <i>Pseudomonas sp.</i> <i>Enterobacter sp.</i>	Solubilizaron tanto la forma inorgánica (fosfato de calcio) como la orgánica (fitato de calcio) del fósforo. Reducción del pH hasta 6,0. Producción de ácidos orgánicos, predominante el ácido glucónico.	P. Hariprasad & S. R. Niranjana, 2009.

Anexo 2. Distribución Porcentual de los géneros de bacterias Solubilizadoras de fosfatos.

GÉNEROS	No. Especies citadas	%
<i>Achromobacter</i>	1	0,74
<i>Acidithiobacillus</i>	1	0,74
<i>Acinetobacter</i>	4	2,96
<i>Aeromonas</i>	1	0,74
<i>Agrobacterium</i>	2	1,48
<i>Alcaligenes</i>	1	0,74
<i>Arthrobacter</i>	6	4,44
<i>Azospirillum</i>	2	1,48
<i>Azotobacter</i>	1	0,74
<i>Bacillus</i>	15	11,11
<i>Brevibacterium</i>	1	0,74
<i>Burkholderia</i>	12	8,88
<i>Cedecea</i>	1	0,74
<i>Chryseobacterium</i>	1	0,74
<i>Citrobacter</i>	1	0,74
<i>Curtobacterium</i>	1	0,74
<i>Delftia</i>	2	1,48
<i>Dyella</i>	1	0,74
<i>Enterobacter</i>	9	6,66
<i>Escherichia</i>	1	0,74
<i>Exiguobacterium</i>	1	0,74
<i>Gluconacetobacter</i>	2	1,48
<i>Gordonia</i>	1	0,74
<i>Klebsiella</i>	4	2,96
<i>Leclercia</i>	1	0,74
<i>Mesorhizobium</i>	4	2,96
<i>Micrococcus</i>	2	1,48
<i>Ochrobactrum</i>	1	0,74
<i>Paenibacillus</i>	2	1,48
<i>Pantoea</i>	4	2,96
<i>Pasteurella</i>	1	0,74
<i>Phyllobacterium</i>	1	0,74
<i>Proteus</i>	1	0,74
<i>Pseudomonas</i>	17	12,59
<i>Rahnella</i>	2	1,48
<i>Ralstonia</i>	1	0,74
<i>Raoultella</i>	2	1,48
<i>Rhizobium</i>	2	1,48
<i>Rhodococcus</i>	1	0,74
<i>Serratia</i>	6	4,44
<i>Sphingobacterium</i>	1	0,74
<i>Staphylococcus</i>	3	2,22
<i>Stenotrophomonas</i>	2	1,48
<i>Streptomyces</i>	8	5,92
<i>Xanthomonas</i>	1	0,74
Totales	135	100