

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y FILOSOFÍA
“ALBERTO CAZORLA TALLERI”



**“ESTUDIO DEL EFECTO PROMOTOR DEL CRECIMIENTO VEGETAL DE
CEPAS NATIVAS HALOTOLERANTES DEL GÉNERO *STREPTOMYCES* EN
CONDICIONES DE SUELO CON SALINIDAD”**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO DE:

BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN BIOLOGÍA

AUTOR:

Rosa Mariana Ventura Poma

ASESOR:

Dra. Jasmin Elena Hurtado Custodio

Lima – Perú

2021

ESTUDIO DEL EFECTO PROMOTOR DEL CRECIMIENTO VEGETAL DE CEPAS NATIVAS HALOTOLERANTES DEL GÉNERO STREPTOMYCES EN CONDICIONES DE SUELO CON SALINIDAD

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	6%	3%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	patents.google.com Fuente de Internet	1%
2	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
3	"Microbial Probiotics for Agricultural Systems", Springer Science and Business Media LLC, 2019 Publicación	<1%
4	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1%
5	repositorio.upch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	Sugenith Margarita Arteaga Castillo. "Cultivos para el cambio climático: selección y caracterización de variedades de judía (Phaseolus vulgaris L.) y Phaseolus lunatus"	<1%

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
1. Estado del Arte	4
I. Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPB)	4
I.1 Rizosfera e interacción rizosfera-microorganismo.	4
I.2 Mecanismos de acción directa e indirecta	5
II. Salinidad del Suelo y Ecosistemas	6
II.1 Causas	7
II.2 Efecto de las sales en suelos y plantas	7
II.3 Clasificación	8
III. Género Streptomyces	9
III.1 Distribución Ecológica	9
III.2 Streptomyces como promotor del crecimiento vegetal en suelos no afectados por sales.	11
III. 3 Actividad PGP del género Streptomyces en suelos afectados por sales	12
2. Problema de Investigación	13
3. Estrategia de Abordaje	15
Referencias Bibliográficas	17

RESUMEN

La degradación de los suelos puede ser originada por la salinidad debido a malas prácticas agrícolas que tiene como resultado efectos negativos en el desarrollo de las plantas y, por consiguiente, en el rendimiento de los cultivos. Por ello, se han implementado diferentes medidas para mitigar el efecto de la degradación de los suelos. Una de las más estudiadas hoy en día, es el uso de bacterias que tienen la capacidad de promoción del crecimiento vegetal (Plant Growth Promoting Bacterias, PGPB) que son capaces de estimular el crecimiento en estas condiciones limitantes para la planta. Estas PGPB tienen un efecto positivo al aumentar la disponibilidad de nutrientes y proteger a la planta frente a diferentes fitopatógenos que afectan su adecuado desarrollo. Uno de los grupos de bacterias que habitan en la rizosfera de las plantas, presentan capacidad de biorremediación y actividad promotora del crecimiento vegetal es el género *Streptomyces*, debido a que la mayoría tiene la facilidad de colonizar la rizosfera por medio de la quimiotaxis, la síntesis de metabolitos secundarios y tener la capacidad de vivir en diversos ambientes. Algunas cepas de *Streptomyces* que son aisladas de diferentes hábitats limitantes y también pueden presentar estas características PGP, ya que pueden adaptarse a diversas situaciones agroecológicas y se pueden emplear como un elemento positivo en el desarrollo de las plantas. Asimismo, se ha reportado que cepas halotolerantes tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal en suelos que presentan problemas de salinidad, aumentando de manera significativa el crecimiento de distintas estructuras de la planta. A partir de ello, se desea demostrar la capacidad PGP de cepas nativas halotolerantes de *Streptomyces*, aisladas de minerales de zonas mineras, en condiciones de salinidad evaluando la longitud de brotes y raíces, peso seco y fresco en plantas.

PALABRAS CLAVES: *Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV)*,
Streptomyces, *Salinidad*

ABSTRACT

Soil degradation can be originated by salinity due to mishandling of agricultural activities which result in negative effects for the plant's development and, consequently, crop yield. Because of this, different alternatives have been implemented to mitigate these effects, one of the most studied of these techniques recently have been the use of "Plant Growth Promoting Bacteria" (PGPB) which stimulate plant growth under limited conditions. PGPB have a positive effect by increasing nutrient availability and protecting the plant from a variety of different pathogens that might affect its development. The *Streptomyces* genera are one of the bacteria groups that inhabit the plant's rhizosphere, present bioremediation capabilities, and have growth promoting activity; due to most of them having the ease of colonizing the rhizosphere by means of chemotaxis, synthesis of secondary metabolites and the capability of survive in different environments. Some *Streptomyces* strains which have been isolated from limiting environments, can also possess these PGP characteristics, due to them been able to adapt to different agroecological situations and can be implemented as a positive complement for the plant's development. Similarly, halotolerant strains have been reported to have the capability of promoting plant growth in salinity-troubled soils by augmenting growth significantly in different parts of the plant. From this starting point, it is desired to demonstrate PGP capacity in native halotolerant *Streptomyces* strains, isolated from minerals found in mining zones, in salinity conditions by evaluating the plant's sprout and root length as well as its dry and fresh weight.

KEYWORDS: *Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB), Salinity, Streptomyces*

1. Estado del Arte

I. Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPB)

Las PGPB se caracterizan por aumentar el desarrollo de las plantas por medio de distintos mecanismos directos e indirectos, que tendrán como finalidad mejorar su crecimiento, proteger a las plantas contra fitopatógenos y estimular su crecimiento en condiciones que desencadenan el estrés en plantas [1]. Asimismo, los buenos resultados que origina el uso de PGPB por los mecanismos que emplea dependen de la exudación de azúcares por parte de las raíces, eficacia de la colonización bacteriana y las condiciones que presenta el suelo, que serán esenciales en la interacción de las bacterias con la planta provocando un aumento en su crecimiento [1].

I.1 Rizosfera e interacción rizosfera-microorganismo.

La región en el suelo donde ocurre una interacción entre los microorganismos y las raíces de las plantas se denomina rizosfera. Esta relación se ve influenciada por la exudación de compuestos por parte de las plantas, ya que gracias a estos se producirá una atracción de los microorganismos que posteriormente realizarán diferentes mecanismos que tendrán un efecto en las plantas [1]. Las interacciones que pueden surgir después de la atracción de los compuestos liberados por parte de las raíces se originan mediante procesos simbióticos, endofíticos o asociativos entre las bacterias y las plantas [1]. Dentro de los géneros de bacterias que poseen la capacidad de mejorar el crecimiento de las plantas y actualmente se incluyen dentro de biofertilizantes se encuentran: *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Caulobacter*, *Falvobacterium*, *Pseudomonas* y *Serratia*, estos géneros han demostrado interacciones de vida libre o asociativas con las plantas [2,3]. En el caso de las PGPB que han interactuado con la planta mediante procesos endofíticos se

encuentran los siguientes géneros: *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Mesorhizobium* [2,3].

I.2 Mecanismos de acción directa e indirecta

El efecto positivo en el crecimiento de las plantas por medio de los mecanismos de las PGPB se ve influenciado tanto por la bacteria y la planta, debido a que no todas las bacterias tienen la capacidad de tener los mismos mecanismos para promover el crecimiento vegetal [1]. Es importante destacar que la gran mayoría de géneros de PGPB pueden actuar en las diferentes etapas de desarrollo de la planta utilizando mecanismos directos e indirectos [1]. Dentro de los mecanismos directos se encuentra: A) la fijación biológica de nitrógeno estimula el crecimiento de manera directa en las plantas debido a que un gran porcentaje de nitrógeno atmosférico (N_2) no se encuentra disponible para ellas, por lo tanto, este proceso realizado por bacterias consiste en la reducción de N_2 en amoníaco (NH_3), compuesto accesible para la planta, por medio de un complejo enzimático que se encuentra en las bacterias denominado nitrogenasa [1,3]. B) la solubilización de fosfato es crucial para un desarrollo adecuado de las plantas [1]. El fosfato inorgánico usualmente se encuentra insoluble en el suelo por lo que no puede ser aprovechado por las plantas generando efectos negativos en su crecimiento [1,3]. Existen bacterias que tienen la capacidad de conferir la solubilidad del fosfato inorgánico por diferentes procesos metabólicos que tienen como resultado la producción de ácidos orgánicos, sideróforos e hidroxilos [1,3]. C) la síntesis de fitohormonas es beneficiosa para el desarrollo de las plantas, debido a que las emplean para estimular su crecimiento al producir diferentes auxinas como el ácido indol acético (AIA), pero estas no son las únicas que pueden producirlas ya que se ha demostrado que hay bacterias que emplean L- triptófano que es uno de los compuestos exudados por las raíces que actúa como precursor para la síntesis de AIA por parte de las bacterias [1,3]. D) producción de 1-

Aminociclopropano -1-carboxilato (ACC) desaminasa, es una enzima que tiene la capacidad de reducir los niveles excesivos de la hormona etileno que es producida por las plantas cuando se encuentran sometidas a un estrés abiótico, causando daños en el desarrollo de la planta [3]. E) la producción de sideróforos ayuda a obtener la disponibilidad de un nutriente importante para las plantas que es el hierro, debido a que se encuentra insoluble en los suelos aeróbicos, Fe^{+3} [2]. Los sideróforos tienen la facilidad de unirse al Fe^{+3} que tendrá como resultado la formación de un complejo sideróforo- Fe^{+3} , que es una forma disponible para la planta al emplearlo de manera directa [3].

Con respecto a los mecanismos indirectos uno de los más importantes es la producción de antibióticos y enzimas, que tienen la función de prevenir alguna enfermedad producida por fitopatógenos [3]. El grupo de microorganismos que causa muchas enfermedades difíciles de tratar en las plantas son los hongos, por ello se han reportado estudios de bacterias que sintetizan enzimas que ayudarán a que estos hongos se vean afectados negativamente hasta producir su muerte por lisis celular [3]. Otro mecanismo es la resistencia sistémica inducida, que puede ser resultado de la interacción entre las bacterias y las raíces. En el caso de haber producido resistencia frente a fitopatógenos se desencadenan distintas hormonas como el jasmonato que ayudará a obtener respuestas de defensa para la planta [3]

II. Salinidad del Suelo y Ecosistemas

Las plantas para un desarrollo adecuado también necesitan sales solubles o sus iones que se encuentran dentro de la composición del suelo [4]. Cuando el contenido de estas sales aumenta en alguno de los horizontes del suelo provoca un efecto negativo como la inhibición del desarrollo de las plantas [4].

II.1 Causas

El origen de la salinidad que afecta a los suelos se encuentra dividida en primaria y secundaria [4]. La primaria conlleva una acumulación natural de las sales que es producida por condiciones geográficas, climáticas e hidrológicas [4]. En el caso de la salinidad secundaria ha sido provocada por la actividad del hombre en los suelos agrícolas, ya que emplean excesivamente agua con alto contenido de sales para el riego del suelo de los cultivos que tendrá un mayor efecto negativo cuando no hay un buen drenaje, además del uso de fertilizantes sintéticos que aumentan la acumulación de sales en los suelos [4].

II.2 Efecto de las sales en suelos y plantas

La salinidad provoca una disminución en la productividad de los suelos agrícolas, debido a que su principal efecto se enfoca en la presión osmótica por producir cambios no favorables en las raíces, que están relacionados con la disponibilidad de agua [4]. Además, dentro de los efectos adicionales de la salinidad se encuentra la disminución de los nutrientes y de la biodiversidad de los suelos, debido a que presentan niveles de toxicidad que no favorecen el crecimiento de las plantas [4,5]. Estos cambios que se originan en el suelo también están asociados a una disminución de la retención del agua, inestabilidad estructural y una baja tasa de filtración [5].

El efecto de las sales en el crecimiento de las plantas se caracteriza de manera general en dos fases: la primera afecta de manera rápida en la reducción del crecimiento que es producida por el estrés osmótico que se basa en una disminución de los potenciales hídrico y osmótico del suelo, provocando que la planta sufra de un déficit hídrico [6,7]. La segunda fase se debe a un estrés iónico que está asociado con la acumulación de iones como Na^+ y Cl^- en los tejidos, lo cual es perjudicial para el metabolismo de las células y,

por consiguiente, provoca la inhibición del crecimiento de las plantas por la toxicidad que origina la acumulación estos iones [6,7].

En cultivos hortícolas se ha observado que la salinidad tiene un efecto negativo, ya que induce la disminución de su crecimiento, reducción o inhibición de la fotosíntesis, disminución de la conductancia estomática e hidráulica [6]. Muchos de estos cultivos sometidos al estrés por salinidad, se ven inicialmente con hojas marchitas, amarillentas y con la reducción de su crecimiento [6]. En una segunda etapa se observó que las hojas jóvenes y viejas presentaban clorosis, quemadura de las puntas de sus hojas y necrosis [6]. Estos efectos visuales son originados por un exceso de la producción de hormonas como el etileno que inicialmente tiene como propósito ser un mecanismo de defensa, pero cuando hay una sobreproducción de esta hormona de manera constante frente al estrés salino afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas [3].

II.3 Clasificación

La concentración de la salinidad en el suelo se expresa mediante la conductividad eléctrica (dS/m), el porcentaje de sodio intercambiable que se refiere a la cantidad de sodio acumulado por las partículas del suelo y el pH, utilizando estos parámetros los suelos se pueden clasificar en tres grupos: suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos [8,9]. Los suelos salinos se caracterizan por contener una menor cantidad de Na^+ intercambiable en los componentes del suelo, pero sí poseen una cantidad excesiva de sales solubles, que conlleva a una conductividad eléctrica mayor a 4 dS m^{-2} [9]. Por el contrario, en suelos sódicos la cantidad de sales solubles es menor ($\text{ECe} < 4 \text{ dS m}^{-2}$), pero poseen una concentración alta de sodio adsorbido mayor al 15% generando efectos perjudiciales en el rendimiento de los cultivos a causa de la disminución de la

conductividad hidráulica [9]. Por último, se encuentran los suelos salino-sódicos que poseen características similares tanto de los suelos sódicos como los salinos. Estos suelos tienen excesivas cantidades de sales solubles por lo que su conductividad eléctrica será mayor a 4 dS m⁻² y su alto contenido de sodio intercambiable es superior al 15 % [9]. Una característica adicional de este suelo es que tienen grandes contenidos de sales solubles que al ser sometidos a hidrólisis se convierten en compuestos alcalinos que dañan el crecimiento de las plantas [9].

III. Género Streptomyces

Es el grupo de bacterias más descrito de la familia actinobacteria, se caracterizan por ser grampositivas y tener un parecido morfológico con los hongos por presentar filamentos ramificados, micelio y esporas [10]. Cabe resaltar, que gracias a la producción de metabolitos secundarios como antimicrobianos y antiparasitarios, han demostrado ser foco de estudios como biocontroladores [10]. Esto ha permitido que se sigan reportando estudios que denoten la relación beneficiosa de estas bacterias con las plantas, brindando protección frente plagas e incrementando de manera directa su crecimiento [10].

III.1 Distribución Ecológica

Estas bacterias constituyen entre el 1-20% de la diversidad microbiana que se encuentra en el suelo. Posee una distribución cosmopolita que se atribuye a su producción de esporas, que les permite poder propagarse fácilmente y, además explicar su presencia en diferentes ambientes favorables como desfavorables [10]. La mayoría de los miembros del género Streptomyces se han aislado de la rizosfera y de algunas partes estructurales de la planta [11,12]. Sin embargo, existen algunos miembros que son aislados de ambientes marinos, suelos afectados por sales y minerales que contienen una alta concentración de sales, que posteriormente son caracterizadas como halotolerantes

debido a que son capaces de crecer tanto en ausencia como en presencia de sal, a diferencia de las halófilas que requieren sal para su crecimiento [13,14,15].

Los *Streptomyces* que se consideran halotolerantes, presentan diferentes mecanismos de defensa que tienen como finalidad brindar la capacidad de sobrevivir ante el estrés producido por sales. Los diferentes mecanismos incluyen: a) Un aumento de los niveles de solutos compatibles, dentro de los más observados se encuentran la ectoína, prolina, 5-hidroxiectoína y alanina, que tienen como principales objetivos mantener el nivel de hidratación celular, estabilizar proteínas y permitir el ingreso del agua a la célula [16,17].

Dentro de los solutos compatibles sintetizados y acumulados por *S. coelicolor* después de una prolongada y continua exposición al estrés salino fueron la ectoína e 5-hidroxiectoína como medida de protección [16]. Sin embargo, cuando se produce el shock salino, *S. coelicolor* presenta como principal soluto acumulado y sintetizado a la prolina, estos niveles significativos indican que este soluto compatible es utilizado por la bacteria para la osmoprotección aguda [17]. b) La disminución de la producción de inhibidores de moléculas de defensa salina, se ha presentado en *Streptomyces* con un metabolito denominado 5-metiltoadenosina que mostró una disminución leve, pero de forma continua; su función en la célula es inhibir la síntesis de un compuesto nitrogenado alifático denominado poliamina que se encarga de proteger a la célula frente al estrés salino [17]. c) Un aumento en la degradación proteolítica de moléculas anormales, debido a que en condiciones de estrés la célula incrementa la síntesis de proteínas anormales, por ello las células expresan el gen *Lon* para destruir estas proteínas por medio de la producción de proteasas cuyo proceso de degradación es dependiente de ATP [18]. Además, la expresión del gen *Lon* es favorecida con la presencia del soluto compatible ectoína [18]. Cabe destacar que, otro mecanismo que debería ser estudiado en el género *Streptomyces* bajo condiciones de estrés salino es la liberación de exopolisacáridos

(EPS), ya que tienen como finalidad la protección contra el estrés osmótico y de las fluctuaciones del potencial hídrico [19].

III.2 Streptomyces como promotor del crecimiento vegetal en suelos no afectados por sales.

La mayoría de los estreptomicetos tienen la facilidad de colonizar la rizosfera de las plantas, el cual los hace buenos candidatos como PGP [10]. El beneficio que brindan estas bacterias para promover el crecimiento depende de la interacción con la planta que colonizan mediante quimiotaxis [20]. Las interacciones que se han reportado hasta ahora de estas bacterias con las plantas son endofíticas y de vida libre [20].

A partir de la recopilación de estudios de este grupo de bacterias del género *Streptomyces* que tienen actividad PGP en suelos no afectados por sales, han demostrado mecanismos directos como la producción de fitohormonas y sideróforos, solubilización de fosfato y fijación de nitrógeno [20].

En este párrafo, se proporcionan varios ejemplos de aplicaciones de estreptomicetos promotores del crecimiento (*Plant Growth Promoting by Streptomyces*, PGPS) en cultivos que no crecen bajo estrés salino. En las plantas de arroz al ser inoculadas con cepas del género *Streptomyces* spp., aisladas del vermicompost de hierbas, mejoraron significativamente la productividad de las plantas al influir en la altura, la materia seca total y el rendimiento de grano de la planta, además de aumentar la longitud y volumen de la raíz sobre el control no inoculado. Los mecanismos directos por el cual estas cepas mejoraron los rasgos morfológicos de las plantas de arroz se atribuyen a la producción de ácido indol acético (AIA) y sideróforos [21]. En las plantas de trigo al ser inoculadas con cepas de *Streptomyces* (*Streptomyces mhcr0816* y *Streptomyces mhce0811*), mejoraron significativamente el crecimiento y desarrollo, en términos de longitud de raíces y brotes,

número de ramas y raíces, así como la biomasa de las plantas de trigo; gracias a que estas cepas tenían la actividad de solubilizar fosfato, producir AIA y sideróforos [22]. En plantas de berenjena la aplicación de cepas marinas de *Streptomyces* mejoraron significativamente el rendimiento agronómico, al influir en los aumentos significativos de la longitud de la raíz y del brote, peso seco y fresco de la berenjena, esto fue producto de la solubilización de fosfato y la producción de fitohormonas como el AIA [23].

III. 3 Actividad PGP del género *Streptomyces* en suelos afectados por sales

En suelos afectados por sales, los mecanismos PGP por cepas de *Streptomyces* halotolerantes pueden ayudar a las plantas a aumentar su crecimiento en condiciones de salinidad [24,25,26].

En estas condiciones de estrés los estudios realizados en las plantas de arroz inoculadas con la cepas de *Streptomyces venezuelae* y *Streptomyces* sp. tuvieron un aumento significativo en la longitud de los brotes y raíces, y su biomasa con respecto al control sin inocular, esto fue gracias a que estas cepas demostraron tener la capacidad de producir la enzima ACC desaminasa cuya actividad es disminuir el contenido de etileno convirtiéndolo en formas menos tóxicas, permitiendo que la planta pueda superar la inhibición de su crecimiento. [3,24,25]. En las plantas de trigo inoculadas con cepas de *Streptomyces* utilizadas inicialmente como control biológico, tuvieron un efecto positivo al aumentar la tasa germinativa, la longitud de brote y un incremento del peso seco y fresco, además de un aumento del contenido de nitrógeno, fósforo y hierro debido a que estas cepas pueden producir sideróforos, auxinas como el IAA y la capacidad de solubilizar fosfato [27]. En las plantas de tomate inoculadas con cepas de *Streptomyces* sp. tuvieron aumentos significativos en la longitud de las raíces al igual que en el peso seco y fresco con respecto al control sin inocular debido a que estas cepas pudieron producir IAA y la enzima ACC desaminasa, y la actividad de solubilizar fosfato [28].

Otro mecanismo para ayudar a las plantas frente al estrés salino es la producción de compuestos volátiles que ha sido reportado en el género *Streptomyces* en condiciones de estrés en las plantas por la presencia de fitopatógenos, este mecanismo puede ser eficaz para aumentar el crecimiento de las plantas en condiciones de salinidad debido a que activa con mayor rapidez los diferentes mecanismos de defensa ante el estrés abiótico, incluso han demostrado disminuir el acceso de los iones sodio a las raíces [26,29,30].

2. Problema de Investigación

La productividad de los cultivos se ve afectada por diferentes tensiones abióticas, dentro de estas se encuentra la salinidad que causa un efecto negativo en el desarrollo de las plantas [6]. La salinización de los suelos es originada por causas naturales o antropogénicas que conlleva al uso inadecuado de fertilizantes químicos, riegos excesivos cuyos suelos no poseen buen drenaje [4]. Los efectos de la salinidad en plantas que son sensibles ante el estrés salino como es el caso de las hortalizas presentan una disminución en el crecimiento y en el peor de los casos la inhibición de su desarrollo [6]. Los tratamientos convencionales para la recuperación de suelos con salinidad son costosos y a largo plazo pueden generar un efecto negativo al medio ambiente [6].

Actualmente se han ido estudiando bacterias promotoras del crecimiento vegetal como una alternativa para estimular el crecimiento de las plantas en condiciones de salinidad empleando diferentes mecanismos directos e indirectos [29]. Dentro del grupo de bacterias que se consideran buenas candidatas como PGP en los suelos salinos, es el género *Streptomyces* debido a la resistencia a diferentes condiciones ambientales, producción de metabolitos y antibióticos, y antecedentes de su capacidad biorremediadora [26,29]. Se sabe que la mayoría de los estudios que evalúan la capacidad PGP de este género son aislados de la rizosfera, rizoplano o de los tejidos de las plantas

debido a que se tiene mayor certeza de que interactúen con la raíz y haya un resultado positivo [10]. Esto ha provocado que haya pocos estudios que evalúen la capacidad PGP de aislados del género *Streptomyces* de otros ambientes que no sean agrícolas.

Por el momento, no existen estudios que evalúen cepas halotolerantes aisladas de ambientes hostiles del género *Streptomyces* que logren incrementar el crecimiento de las plantas en condiciones de suelos afectados por salinidad, debido a que no todas las especies aisladas de este género llegan a colonizar adecuadamente la raíz de las plantas, producir metabolitos que ayudarán a la planta, sino que perjudicarán su desarrollo, no logren competir con otras bacterias en el sustrato y no tengan la capacidad de emplear mecanismos de defensa frente al estrés por salinidad que es importante para poder adaptarse y estimular el crecimiento [20,26,28]. Además, se necesita más información de mecanismos que favorezcan el crecimiento de las plantas en suelos con salinidad, tales como la evaluación de la presencia de compuestos volátiles o la síntesis de exopolisacáridos en condiciones de suelos salinos, que pueden ser producidos por las cepas halotolerantes de este género aisladas tanto de ambientes agrícolas y hostiles [26,29]. A partir de ello, se evaluará el potencial de promoción del crecimiento de las plantas mediante la aplicación de cepas halotolerantes de este género, aisladas de diferentes zonas mineras de Arequipa, en condiciones de suelos con salinidad, que tienen como antecedentes interactuar con las plantas de manera positiva en ambientes sin limitaciones y en presencia de metales pesados, ya que provocaron aumentos significativos de las raíces de las semillas de lechuga y alfalfa respecto al control [31].

3. Estrategia de Abordaje

El abordaje experimental se llevará a cabo en dos partes que se realizarán en condiciones ambientales controladas en un invernadero ubicado en la provincia de Barranca que se realizará en el mes de abril cuya temperatura oscila entre 25 – 27 °C y la humedad relativa se encuentra alrededor de 60 – 63%. La primera parte consistirá en la elección de la concentración de NaCl que no sea letal para el desarrollo salino. Por ello, esta parte se dividirá en 5 tratamientos (0, 100, 150, 180, 200 mM de NaCl L⁻¹) que tendrán 4 repeticiones cada una, cuya planta indicadora de estrés salino será el tomate (*Solanum lycopersicum*). En primer lugar, se realizará la desinfección de las semillas de tomate previamente esterilizadas. Luego las semillas se sembrarán en una bandeja de poliestireno que estará conformada por 3 semillas en cada cavidad, cuyo sustrato previamente será sometido a análisis químicos para poder conocer sus propiedades y posteriormente esterilizarlo. Se deberá mantener la humedad del sustrato por medio de irrigaciones diarias con agua destilada o solución de NaCl según el tratamiento que corresponda. Después de 20-25 días se determinará la concentración de NaCl con la que se trabajará en la siguiente parte del experimento por medio de la evaluación del número de semillas que germinaron, la longitud de los brotes y raíces. En la segunda parte del experimento se tendrá cuatro tratamientos de salinidad con tres repeticiones. El primer tratamiento será el control que serán las semillas de tomate sembradas en el sustrato esterilizado sin la inoculación de las cepas (T0). El segundo tratamiento tendrá la aplicación de la suspensión de la cepa 1 (1x10⁸ ufc/ ml) (T1). El tercer tratamiento será la aplicación de la cepa 2 (1x10⁸ ufc/ ml) (T2). El último tratamiento tendrá la aplicación de la cepa 3 (1x10⁸ ufc/ ml) (T3). Las semillas de los tratamientos se sembrarán en el sustrato a razón de tres semillas por vaso y se agregará la concentración seleccionada de NaCl del primer paso para provocar el estrés salino. El crecimiento de las plantas de tomate se controlará

después de 25 y 60 días, para poder evaluar el número de plántulas supervivientes, la longitud del brote, la longitud de las raíces, el número de hojas, peso seco y fresco en dichos intervalos de tiempo. Posteriormente se utilizará el análisis de varianza que determinará las diferencias entre tratamientos y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, la superioridad entre ellos.

Referencias Bibliográficas:

1. Souza R, Ambrosini A, Passaglia L. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genet. Mol. Biol.* [Internet]. 2015 Dec [cited 2020 Aug 13]; 38 (4): 401-419.
2. Glick B. *Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications*. Scientifica. Hindawi [Internet] 2012 [cited 2020 Aug 13]
3. Munees A, Mulugeta K. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *King Saud University Science* [Internet]. 2014 [cited 2020 Oct 14]; 26, 1-20.
4. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *Handbook for Saline Soil Management*. Rome, Italy. [Internet] 2018 [cited 2020 Aug 13].
5. Delgado C. Rodriguez R. Capulín J. Madariaga A. Islas M. Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chivasco, estado de Hidalgo, Mexico. *Academia Journals*. [Internet] 2019 [cited 2020 Oct 15].
6. Almeida R, Serralheiro R. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. *Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization*. [Internet]. 2017 [cited 2020 Oct 15]; 3(2), 30.
7. Rodriguez N. Torres C. Chaman E. Hidalgo J. Efecto del estrés salino en el crecimiento y contenido relativo del agua en las variedades IR-43 y amazonas de *Oryza sativa* “arroz” (Poaceae). *Arnaldoa* [Internet]. 2019 [cited 2020 Oct 16]; 26 (3), 931-942.
8. Wicke B, Smeets E, Dornburg, V.; Vashev, B.; Gaiser, T.; Turkenburg, W.; Faaij, A. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Energy Environ. Sci.* 2011, 4, 2669–2681.

9. Doula M. Sarris A. Soil Environment – Chapter 4. Environment and Development [Internet]. 2016 [cited 2020 Oct 18]; 4, 232-233
10. Sousa J, Olivares F. Plant growth promotion by streptomycetes: ecophysiology, mechanisms, and applications. Chem. Biol. Technol. [Internet]. 2016 [cited 2020 Aug 13] Agric. 3, 24
11. Jin L. Zhao Y. Song W. Duan L. Jiang S. Wang X. Zhao J. Xiang W. *Streptomyces inhibens* sp. Nov., a novel actinomycete isolated from rhizosphere soil of wheat (*Triticum aestivum* L.). Microbiology Society [Internet]. 2019 [cited 2020 Oct 15]; 69, 688-695.
12. Abd-Alla M. El-Sayed E. Rasmey A. Indole-3-acetic acid (IAA) production by *Streptomyces atrovirens* isolated from rhizospheric soil in Egypt. J Biol Earth Sci. [Internet]. 2013 [cited 2020 Aug 13]; (3),182–193.
13. Hurtado J. Pacheco S. Sheen P. Actinobacteria isolated from mineral ores in Peru. 2018 [cited 2020 Aug 24].
14. Dharmaraj S. Marine *Streptomyces* as a novel source of bioactive substances. World Journal of Microbiology and Biotechnology [Internet]. 2010 [cited 2020 Oct 15]; 26, 2123-2139.
15. Shrivastava P, Kumar R, Yandigeri M. In vitro biocontrol activity of halotolerant *Streptomyces aureofaciens* K20: A potent antagonist against *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid Saudi J. Biol. Sci. 2017 [cited 2020 Aug 13]; 175, 34-47
16. Bursy J. Kuhlmann A. Pittelkow M. Hartmann H. Jebbar M. Pierik A. Bremer E. Synthesis and uptake of the compatible solutes ectoine and 5-hydroxyectoine by *Streptomyces coelicolor* A3(2) in response to salt and heat stresses. Appl. Environ. Microbiol. [Internet]. 2008 [cited 2020 Aug 13]; 74, 7286-7296.

17. Kol S. Merlo M. Scheltema R. De Vries M. Vonk R. Kikkert N. Dijkhuizen L. Breitling R. Takano E. Metabolomic characterization of the salt stress response in *Streptomyces coelicolor*. *Appl. Environ. Microbiol.* [Internet] 2010 [cited 2020 Oct 16] 76, 2574–2581.
18. Sadeghi A. Soltani B. Jouzani G. Karimi E. Nekouei M. Sadeghizadeh M. Taxonomic study of a salt tolerant *Streptomyces* sp. strain C-2012 and the effect of salt and ectoine on lon expression level. *Microbiol. Res.* [Internet]. 2014 [cited 2020 Oct 16]; 169, 232–238.
19. Ashraf M. Hasnain A. Berge O. Mahmood T. Inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. *Biology and Fertility of Soils.* [Internet]. 2004 [cited 2020 Oct 16]; 40, 157- 162.
20. Olanrewaju O, Babalola O. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. *Appl Microbiol Biotechnol.* [Internet]. 2019 [cited 2020 Aug 13]; 103, 1179–1188.
21. Gopalakrishnan S. Vadlamudi S. Bandikinda P. Sathya A. Vijayabharathi R. Rupela O. Kudapa H. Katta K. Varshney R. Evaluation of *Streptomyces* strains isolated from herbal vermicompost for their plant growth-promotion traits in rice. *Microbiological Research.* [Internet]. 2014 [cited 2020 Oct 16]; 169, 40-48.
22. Jog R. Pandya M. Nareshkumar G. Rajkumar S. Mechanism of phosphate solubilization and antifungal activity of *Streptomyces* spp. isolated from wheat roots and rhizosphere and their application in improving plant growth. [Internet] 2014 [cited 2020 Oct 16]; 160, 778-788
23. Rashad F, Fathya H, El-Zayata A, Elghonaimy A. Isolation and characterization of multifunctional *Streptomyces* species with antimicrobial, nematicidal and

- phytohormone activities from marine environments in Egypt. *Microbiol. Res.* 2015 [cited 2020 Aug 13]; 175, 34–47
24. Yoolong, S., Kruasuwan, W., Thanh Phạm, H.T. et al. Modulation of salt tolerance in Thai jasmine rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML105) by *Streptomyces venezuelae* ATCC 10712 expressing ACC deaminase. *Sci Rep* 9, 1275. 2019 [cited 2020 Aug 27]
25. Jaemsaeng, R., Jantasuriyarat, C. & Thamchaipenet, A. Molecular interaction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase (ACCD)-producing endophytic *Streptomyces* sp. GMKU 336 towards salt-stress resistance of *Oryza sativa* L. cv. KDML105. *Sci. Rep.* 8. 2018 [cited 2020 Aug 27].
26. Romano N, Yañez M, Irazusta V, Rajal V, Moraga N. Potential of Bioremediation and PGP Traits in *Streptomyces* as Strategies for Bio-Reclamation of Salt-Affected Soils for Agriculture. *Pathogens* [Internet]. 2020 [cited 2020 Aug 13]. 9(2), 117.
27. Sadeghi A. Karimi E. Dahaji P. Javid M. Dalvand Y. Askari H. Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. *World J. Microbiol. Biotechnol.* [Internet] 2012 [cited 2020 Aug 27]; 28, 1503-1509.
28. Palaniyandi, S.A.; Damodharan, K.; Yang, S.H.; Suh, J.W. *Streptomyces* sp. strain PGPA39 alleviates salt stress and promotes growth of "Micro Tom" tomato plants. *J. Appl. Microbiol.* [Internet]. 2014 [cited 2020 Aug 27]; 117, 766-773
29. Gamalero E. Bona E. Todeschini V. Lingua G. Saline and Arid Soils: Impact on Bacteria, Plants, and Their Interaction. *Biology* [Internet]. 2020 [cited 2020 Oct 17]; 9, 116.

30. Gong Y. Chen L. Pan S. Li X. Xu M. Zhang C. Xing K. Qin S. Antifungal potential evaluation and alleviation of salt stress in tomato seedlings by a halotolerant plant growth – promoting actinomycete *Streptomyces* sp. KLBMP5084. *Rhizosphere* [Internet]. 2020 [cited 2020 Oct 21].
31. Pacheco S. Determinación de la capacidad biofertilizante de actinomicetos en presencia de metales pesados. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 2016 [cited 2020 Oct 30].