BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS MICROBIOLÓGICAS
POSGRADO EN MICROBIOLOGÍA

Crecimiento de *Sonchus* sp. bajo condiciones de laboratorio y efecto de la inoculación con bacterias benéficas

TESIS

para obtener el título de:

MAESTRO EN CIENCIAS (MICROBIOLOGÍA)
CON OPCIÓN EN: BIOQUÍMICA Y GENÉTICA MICROBIANA

Presenta:

Biol. Oscar Horacio Alejandro Mares Duran

Director de tesis:

Dr. Jesús Muñoz Rojas

Co-Director:

Dra. Yolanda Elizabeth Morales García

PUEBLA, PUEBLA. **Mayo 2024.**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Microbiológicas.

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Eje IV. Modelo de Investigación abierta y compartida. Objetivo 1. Formar recursos humanos que impacten positivamente el contexto social y científico como consecuencia de su accionar en una comunidad para lograr una educación desarrolladora de la transformación. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2021-2025.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS 2
ÍNDICE 3
RESUMEN 5
I. INTRODUCCIÓN 7
1.1 Cerraja 7
1.1.1 Usos 7
1.1.2 Distribución 9
1.2 Inoculantes bacterianos 10
1.2.1 Bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) 10
1.2.2 Adherencia 10
1.2.3 Aislamiento 11
1.2.4 Tipos de inoculantes en función del número de cepas microbianas 12
1.2.5 Uso en la agricultura 12
1.3 *Pseudomonas putida* 13
1.3.1 Descripción 13
1.3.2 Hábitat 13
1.3.3 *P. putida* como promotora del crecimiento vegetal 14
1.4 *Gluconacetobacter diazotrophicus* 16
1.4.1 Fijación de nitrógeno 16
1.4.2 Defensa y protección hacia la planta 16
1.4.3 Aplicaciones agrícolas 16
1.5 *Paraburkholderia unamae* 17
1.5.1 Taxonomía 17
1.5.2 Fijación de nitrógeno 18
1.5.3 Producción de hormonas 18
1.5.4 Competencia contra patógenos 20
1.5.5 *Paraburkholderia unamae* MTI-641^{T} 20
1.6 *Sphingomonas* sp. 21
1.6.1 Generalidades 21
1.6.2 Hábitat 21
1.6.3 Biorremediación 22
1.6.4 Biopolímeros 23
1.6.5 Promoción del crecimiento vegetal 24
1.7 *Azospirillum brasilense* 25
1.7.1 El género *Azospirillum* 25
1.7.2 Fijación de nitrógeno y promotor del crecimiento vegetal 25
1.7.3 Uso agrícola 26

1.7.4 Importancia para la investigación científica 26
II. JUSTIFICACIÓN 28
III. OBJETIVO GENERAL 29
IV. OBJETIVOS PARTICULARES 29
V. HIPÓTESIS 29
VI. MATERIALES Y MÉTODOS 29
6.1 Identificación de la planta *Sonchus oleraceus* 29
6.2 Recolección de semillas de *Sonchus oleraceus* 30
6.3 Germinación de semillas 30
6.4 Medios de cultivo e inoculante 32
6.5 Colonización 34
6.6 Adherencia 34
6.7 Análisis estadísticos 35
VII. RESULTADOS 36
7.1 Pruebas de germinación 36
7.2 Colonización 36
7.3 Adherencia de *P. putida* KT2440 37
VIII. DISCUSIÓN 40
8.1 Germinación 40
8.2 Colonización 42
8.3 Peso fresco de las raíces de las plantas 43
8.4 Adherencia 45
IX. GLOSARIO 47
X. REFERENCIAS 51

RESUMEN

En este estudio centrado en *Sonchus oleraceus*, se exploró el impacto de cinco cepas bacterianas promotoras del crecimiento vegetal: *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal 5^T, *Paraburkholderia unamae* MTI-641^T, *Sphingomonas* sp. OF178, *Azospirillum brasilense* sp. 7^T y *Pseudomonas putida* KT2440. La investigación se enfocó en comprender la capacidad de estas bacterias para adherirse y colonizar la planta, analizando su influencia en el crecimiento de *S. oleraceus*. Los resultados proporcionan una visión inicial sobre las complejas interacciones planta-microorganismo, y su relevancia para el desarrollo de estrategias de mejora del crecimiento vegetal. En el estudio, se observó que la profundidad de siembra de las semillas fue un factor crucial para la germinación. La prueba más exitosa (90% de germinación) involucró semillas colocadas directamente en un sustrato compuesto por 50% de humus de lombriz y 50% de lombricomposta, con condiciones específicas de agua, luz solar y temperatura. La cantidad de luz afecta directamente la tasa de germinación, según estudios que confirman la importancia de la luz y la presencia de salinidad. Otros factores como la temperatura, calidad de la semilla y agua también influyen, pero la dependencia de la luz destaca como un elemento determinante en el ciclo de germinación de *S. oleraceus*.

A pesar de varios intentos de replicar la colonización bacteriana en plántulas de *S. oleraceus* con cinco cepas bacterianas, en la evaluación no se detectó la presencia de bacterias en ningún tratamiento ni en el grupo de control. La capacidad de las cepas bacterianas para colonizar las semillas de *S. oleraceus* puede depender de interacciones específicas entre las bacterias y la planta. También esto pudo haberse dado por la producción de compuestos antimicrobianos producidos por las plantas.

Con respecto a las pruebas de adherencia, se decidió utilizar sólo a *P. putida* KT2440. En todas las muestras analizadas, se detectó la presencia de *P. putida* KT2440. La carga bacteriana varió entre las muestras, siendo la muestra cinco la que mostró la mayor concentración con $430x10^2$ UFC (unidades formadoras de colonias), mientras que la muestra cuatro exhibió la menor carga con $4.6x10^2$ UFC. La media de la carga bacteriana en todas las muestras fue de $9.3x10^2$ UFC. Es importante destacar que las placas del grupo de control no presentaron crecimiento de *P. putida* KT2440.

Uno de los factores más importantes para la germinación de *S. oleraceus* es la profundidad a la que se siembran las semillas, siendo al ras del suelo la más efectiva. En las pruebas de colonización, no hubo presencia de ninguna de las cinco especies evaluadas en este estudio. Sin embargo, en las pruebas de adherencia, *P. putida* KT2440 fue capaz de adherirse a las plántulas de *S. oleraceus*, sin mostrar diferencia en el tamaño de las plantas inoculadas con la bacteria a diferencia del control.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Cerraja

La cerraja o achicoria europea (fig. 1) (*Sonchus oleraceus* L.) es una planta anual herbácea nativa de Europa y distribuida en todo el mundo. Las semillas germinan en primavera y otoño y son transportadas por el viento o el agua para propagarse. Las plántulas desarrollan una roseta de hojas cerosas con márgenes variables y puntiagudos. En climas cálidos, las plantas pueden crecer de 1 m a 1.2 m, aunque también podrían llegar a crecer hasta 1.5 m. El tallo principal es verde pálido y a veces puede estar teñido de color púrpura rojizo, y no presenta tricomas. Las flores se encuentran en cabezuelas de color amarillo y los frutos son similares a los del diente de león (*Taraxacum officinale*) (Peerzada *et al*., 2019).

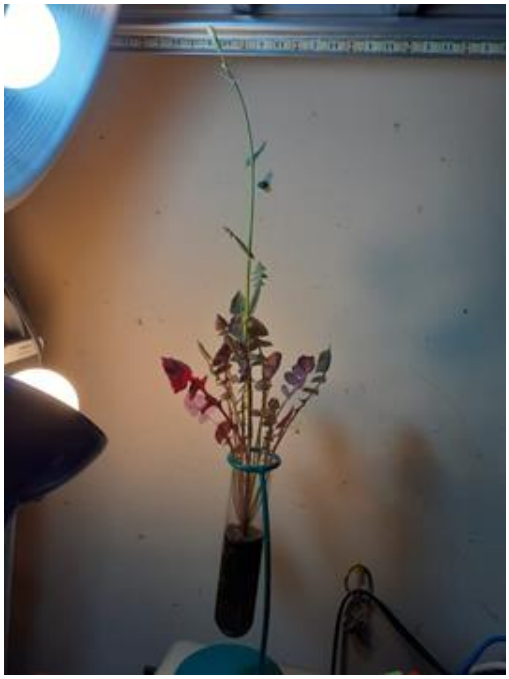


Figura 1. Ejemplar de *Sonchus oleraceus* creciendo en un tubo de ensayo de vidrio bajo condiciones de luz artificial.

1.1.1 Usos

La cerraja es considerada una planta comestible (Li & Yang, 2018) y recientemente se ha investigado su potencial como cultivo para consumo de humanos y animales (Li & Yang, 2018). Además, algunas especies

del género *Sonchus* presentan potencial en el ámbito farmacológico (Puri, 2018). Entre los distintos trabajos realizados sobre *S. oleraceus* se encuentran su actividad como antihipertensivo, efecto hipoglucémico, actividad antinflamatoria, efectos antipiréticos, actividad neuroprotectora y cicatrizante, entre otros (Puri, 2018). En la medicina tradicional, se usa para tratar icterohepatitis, cáncer, inflamación, reumatismo, diarrea y envenenamiento por ofidios (Xiu & Yang, 2018).

A nivel global, la cerraja se ha reconocido como una plaga, sobre todo en el ámbito de la agronomía (Peerzada, 2019). Su capacidad para agotar rápidamente los recursos hídricos y afectar adversamente el crecimiento de los cultivos debido a su interacción alelopática ha sido documentada (Xuan *et al*., 2016). A pesar de esto, algunas especies del género *Sonchus* muestran atributos con potencial económico. La parte aérea de la planta se destaca como una valiosa fuente de proteínas, magnesio, hierro, calcio, fósforo, y sodio (Afolayan & Jimoh, 2008). Además, se han descubierto metabolitos con propiedades antimicrobianas (Khan *et al*., 2010), fungicidas (Banaras *et al*., 2020) y antipiréticas (Vilela *et al*., 2009). Aunque en ciertos entornos se considera que esta planta puede ser perjudicial para la agroeconomía, su potencial de cultivo radica en su capacidad para producir látex, su alto valor nutricional y la síntesis de metabolitos con posibles aplicaciones medicinales.

1.1.2 Distribución

S. oleraceus es una planta ruderal y arvense que se ha descrito en México desde los 3100 msnm hasta los 1100 msnm (fig. 2). Desde el Valle de México hasta el Bajío (Rzedowski, 1997). Esta planta es una especie cosmopolita, lo cual significa que se puede encontrar en casi cualquier parte del país.

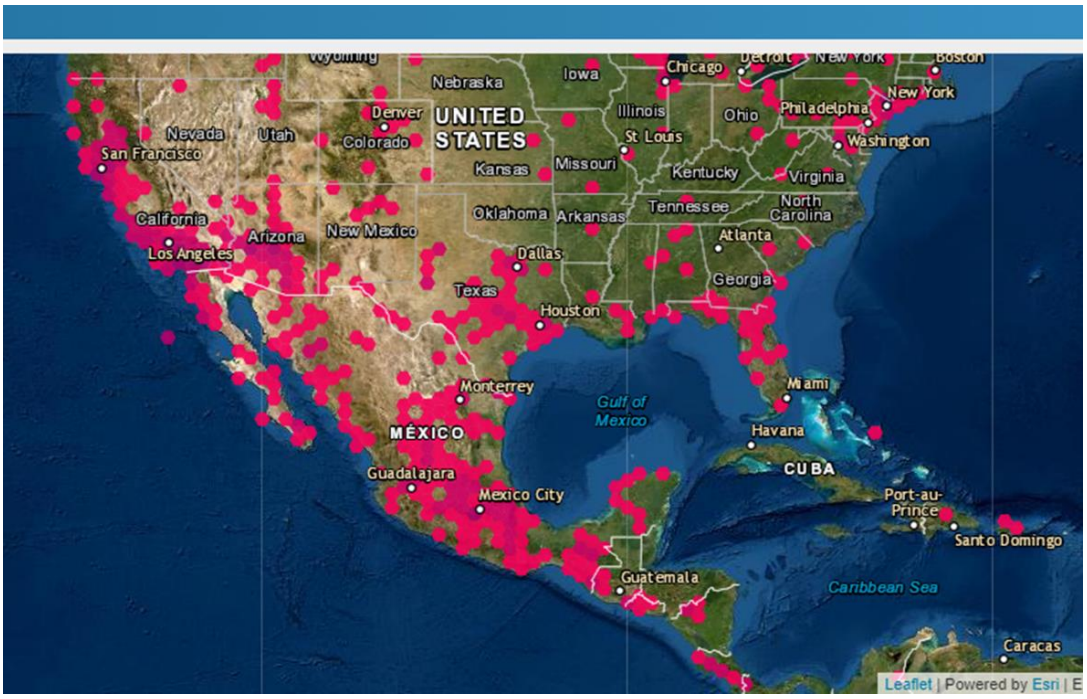


Figura 2. Mapa de distribución de la especie *Sonchus oleraceus*.

Se ha adaptado muy bien a condiciones urbanas y puede crecer en lugares como banquetas, techos, terrenos baldíos, macetas públicas e incluso en grietas en el pavimento. Es más fácil de encontrar en lugares donde está expuesta a la luz solar directa y, a menudo, se encuentra plagada de parásitos invertebrados como los pulgones (Aphididae).

1.2 Inoculantes bacterianos

1.2.1 Bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV)

Las bacterias que viven cerca de las raíces de las plantas se les llama rizosféricas (Molina-Romero *et al*., 2015). La rizosfera se define como el suelo influenciado por los exudados de las raíces de las plantas (Moreno-Valencia *et al*., 2023). Las bacterias rizosféricas forman asociaciones con las plantas para beneficiarse mutuamente. Las plantas pueden excretar nutrientes para las bacterias y a cambio, las bacterias devuelven compuestos que las plantas no pueden producir por sí mismas. Algunas bacterias rizosféricas promueven el crecimiento de las plantas, y se les llama bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV). Las BPCV han sido aisladas del suelo, las raíces, los nódulos de las raíces, la rizosfera, entre otros lugares (Morales-García *et al*., 2019).

1.2.2 Adherencia

Las BPCV se adhieren a las raíces de las plantas, lo cual es crucial para interactuar con ellas (Wheatley & Poole, 2018; Vázquez-Martínez & Muñoz-Rojas, 2023). La adherencia y colonización de las BPCV en las raíces dependen de mecanismos de reconocimiento por parte de la planta hacia la bacteria. Sin embargo, las BPCV deben mantener una asociación saludable con la planta. Si la planta se enferma o muere, también afectará a las BPCV. Por lo tanto, las BPCV deben regular constantemente los compuestos que se secretan en las plantas (Molina-Romero *et al*., 2015).

1.2.3 Aislamiento

Las BPCV que se pueden aislar a menudo se consideran candidatas para producir inoculantes bacterianos, siempre y cuando los estudios demuestren que no son patógenas y que poseen propiedades benéficas para las plantas. El proceso de aislamiento de bacterias es un procedimiento que busca separar y obtener bacterias individuales a partir de una muestra. Comienza eligiendo una fuente, como suelo, agua, o la raíz de una planta y transfiriendo una pequeña cantidad de esta muestra a un medio de cultivo. Este medio proporciona los nutrientes necesarios para que las bacterias crezcan (Yaghoubi Khanghahi *et al*., 2021)

Después de la incubación, se observan las colonias que se han formado en el medio. Se seleccionan colonias individuales que parecen ser diferentes entre sí, ya que esto podría indicar la presencia de distintas cepas bacterianas. Estas colonias seleccionadas se transfieren a nuevos medios de cultivo en un proceso conocido como subcultivo (Majeed *et al*., 2015)

Para garantizar la pureza, el subcultivo se puede repetir varias veces. Durante este proceso, se pueden realizar observaciones microscópicas y pruebas bioquímicas simples como la prueba de catalasa o la prueba de indol, para obtener información preliminar sobre las características de las bacterias aisladas (Sherpa *et al*., 2021)

Finalmente, las cepas bacterianas puras se pueden conservar para su uso futuro. En algunos casos, se pueden realizar pruebas moleculares, como PCR o secuenciación del ADN, para obtener una identificación más precisa de las bacterias aisladas.

1.2.4 Tipos de inoculantes en función del número de cepas microbianas

Los inoculantes son formulaciones que contienen bacterias contenidas en un acarreador y que tienen el potencial de asociarse con las plantas y proporcionarles beneficios (Bashan *et al*., 2014). Los inoculantes microbianos se diseñan a partir de bacterias aisladas de plantas y que tienen capacidad de promover el crecimiento (Alonso-Torres *et al*., 2022). El aislamiento y selección de microorganismos con potencial promotor de crecimiento vegetal se ha realizado continuamente (Morales-García *et al*., 2011; Del Rocío Bustillos-Cristales *et al*., 2017); obteniendo cepas con un gran potencial biotecnológico.

En función del número de cepas que contiene un inoculante, se podría considerar que existen dos tipos (Morales-García *et al*., 2019): mono-inoculantes e inoculantes multi-especies. Los mono-inoculantes utilizan una sola especie microbiana, como por ejemplo los diseñados con *A. brasilense, Azotobacter vinelandii, Rhizobium etli* o *Bacillus* sp. (Molina-Romero *et al*., 2015). Por otro lado, los inoculantes multi-especies utilizan consorcios bacterianos. Estos consorcios son grupos de bacterias que se aislaron de la rizosfera de diferentes plantas y producen diferentes compuestos que, en conjunto, benefician al crecimiento de las plantas, a diferencia de una sola especie capaz de producir una cantidad menor o más limitada de dichos compuestos (Cesa-Luna *et al*., 2020). Para determinar si las bacterias son buenas candidatas para ser parte de los inoculantes multi-especie, se realizan pruebas de antagonismo (para evaluar su capacidad de coexistir con otras especies), resistencia a la desecación y cultivos en medios selectivos (Morales-García *et al*., 2019).

1.2.5 Uso en la agricultura

Se han utilizado algunos consorcios bacterianos para desarrollar inoculantes que funcionan como fertilizantes en cultivos de maíz, caña de azúcar y cacahuate (Pereira *et al*., 2020; Dos-Santos *et al*., 2021; Frezarin *et al*., 2023). Estos inoculantes bacterianos proporcionan beneficios para el crecimiento de las plantas y pueden ser utilizados como una herramienta en la agricultura (Oliveira *et al*., 2009; Molina-Romero *et al*., 2017; de Jesús-Ramos *et al*., 2020).

1.3 *Pseudomonas putida*

1.3.1 Descripción

Pseudomonas putida es una bacteria baciliforme, Gram-negativa, que se encuentra con frecuencia en cuerpos de agua, plantas y suelos (especialmente en lugares contaminados) (Alonso-Torres *et al*., 2022). *P. putida* es capaz de obtener nutrientes sin requerir condiciones específicas. Cuenta con un rápido crecimiento y es resistente frente a situaciones de estrés oxidativo y sustancias químicas tóxicas (Weimer *et al*., 2020). Esta especie se utiliza en procesos de biorremediación para limpiar derrames de petróleo, aguas contaminadas y suelos contaminados con compuestos orgánicos (Xu *et al*., 2018; Zhou *et al*., 2019; Hu *et al*., 2019).

1.3.2 Hábitat

P. putida es una bacteria que se puede encontrar en diferentes hábitats, como en el suelo, donde desempeña una función importante en la descomposición de materia orgánica y la ciclización de nutrientes (Schmidt *et al*., 2022). Está presente en suelos agrícolas, bosques, desiertos y otros ecosistemas terrestres. Esta bacteria también se encuentra en cuerpos de agua como ríos, lagos, estanques y océanos. *P. putida* es capaz de sobrevivir en diferentes condiciones y puede colonizar tanto el agua dulce como la salada. También puede estar presente en la superficie de las plantas y en las raíces, formando asociaciones benéficas para la planta. (Frasson *et al*., 2017; Fontanazza *et al*., 2021; Mering & Danaila, 2023). Se pueden encontrar de manera frecuente en la rizosfera, pero también en el rizoma, e incluso puede colonizar el interior de la raíz de las plantas (Costa-Gutierrez *et al*., 2022). *P. putida* KT2440, coloniza de forma eficiente la rizosfera de diversas plantas entre las que se destaca al maíz, el tomate y la papa (Vázquez-Martínez *et al.*, 2023).

P. putida KT2440 es una cepa que no contiene plásmidos, que deriva de la cepa *P. putida* mt-2 (Regenhardt *et al*., 2002), la cual contiene el plásmido TOL; un plásmido que a su vez contiene genes para la degradación

de tolueno (Williams *et al*., 1974). La cepa mt-2 fue aislada de la rizosfera de tomate (Vásquez-Martínez & Muñoz-Rojas, 2023).

1.3.3 *P. putida* como promotora del crecimiento vegetal

P. putida puede promover el crecimiento vegetal a través de varios mecanismos, por ejemplo: sintetizar y liberar hormonas vegetales como auxinas, giberelinas y citoquininas, que influyen positivamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kang *et al*., 2014; Ortiz-Castro *et al*., 2020, Wang *et al*., 2020). Estas hormonas pueden estimular la elongación de las raíces, la formación de brotes laterales y la proliferación celular (Wang & Irving, 2011).

P. putida produce ácidos orgánicos y enzimas que ayudan a solubilizar nutrientes, como el fósforo, presente en el suelo (Amri *et al*., 2023). Al solubilizar estos nutrientes, la bacteria facilita su absorción por las raíces de las plantas, lo que mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales para su crecimiento (Bechtaoui *et al*., 2021). Algunas cepas de *P. putida* tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y convertirlo en una forma utilizable por las plantas (Li *et al*., 2017). Esto proporciona una fuente adicional de nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, especialmente en suelos pobres en nitrógeno (Leghari *et al*., 2016). Esta especie también puede producir compuestos antimicrobianos y competir con patógenos vegetales por los recursos disponibles (Purtschert-Montenegro *et al*., 2022). Estos mecanismos ayudan a proteger a las plantas contra enfermedades causadas por patógenos y mejorar su salud general. Esta bacteria es capaz de desencadenar respuestas de defensa en las plantas, activando su sistema de defensa innato (Planchamp *et al*., 2015). Esto resulta en una mayor resistencia de las plantas a enfermedades y plagas.

En particular se ha observado que la cepa *P. putida* KT2440 tiene la capacidad de promover el crecimiento de plantas en ambientes adversos (Vázquez-Martínez & Muñoz-Rojas, 2023). Por ejemplo, se ha reportado que el maíz azul es estimulado en su crecimiento cuando las plantas se someten a temperaturas de 40 °C o mayores (Molina-Romero *et al*., 2017b). Además, también se ha observado que *P. putida* KT2440 promueve el crecimiento de plantas en condiciones de elevada salinidad (Costa-Gutierrez *et al*., 2020). Por otro lado, la

cepa KT240 también es capaz de desencadenar la respuesta sistémica inducida (ISR) (Matilla-Vázquez *et al*., 2010). Por esta razón, *P. putida* KT2440 es una cepa ideal para incorporarla en formulaciones multiespecies (Morales-García *et al*., 2019; Molina-Romero *et al*., 2017).

1.4 *Gluconacetobacter diazotrophicus*

1.4.1 Fijación de nitrógeno

Es una bacteria que pertenece al género *Gluconacetobacter* y se destaca por su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico (Eskin *et al*., 2013). *G. diazotrophicus* es capaz de convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) en amoníaco (NH_3) utilizable para las plantas (Schwister *et al*., 2022). Esto lo convierte en un microorganismo importante en la agricultura sostenible, ya que puede ayudar a reducir la dependencia de fertilizantes químicos (Muthukumarasamy *et al*., 2006). *G. diazotrophicus* es una bacteria aerobia estricta, lo que significa que requiere oxígeno para crecer y no puede sobrevivir en condiciones anaeróbicas (Alquéres *et al*., 2010). Esto es importante para su papel en la fijación de nitrógeno, ya que el proceso de fijación de nitrógeno es una reacción altamente energética que requiere oxígeno.

1.4.2 Defensa y protección hacia la planta

G. diazotrophicus es un endófito, lo que significa que puede vivir en el interior de las plantas, especialmente en los tejidos vegetales, como el tallo y las raíces, sin causar daño aparente. Esta simbiosis puede ser beneficiosa para la planta, ya que la bacteria no solo proporciona nitrógeno fijado que la planta puede utilizar como fuente de nutrientes, sino que también la ayuda a inhibir el crecimiento de otros microorganismos patógenos, como *Xanthomonas albilineans* (Arencibia *et al*., 2006).

La sequía es un factor de estrés abiótico que puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas. *G. diazotrophicus* puede ayudar a las plantas a sobrellevar la sequía de varias maneras: cuando las plantas están bajo estrés hídrico, la bacteria puede estimular la producción de fitohormonas, como el ácido abscísico (ABA), que regula el cierre estomático y reduce la pérdida de agua por transpiración (Filgueiras *et al*., 2020). Además, *G. diazotrophicus* puede mejorar la absorción de nutrientes y agua por parte de las plantas, lo que aumenta su capacidad para resistir la sequía.

1.4.3 Aplicaciones agrícolas

Debido a su capacidad de fijación de nitrógeno y de colonización en plantas, *G. diazotrophicus* ha sido objeto de investigación para su uso en la agricultura como un agente de biofertilización (Van *et al*., 2021). *G. diazotrophicus* también ha sido motivo de estudios científicos en la búsqueda de comprender mejor la fijación de nitrógeno y su interacción con las plantas, los investigadores han analizado su genoma y las rutas metabólicas involucradas en la fijación de nitrógeno para mejorar la agricultura sostenible (Schwister *et al*., 2022).

1.5 *Paraburkholderia unamae*

1.5.1 Taxonomía

Paraburkholderia es un género perteneciente a Proteobacteria, compuesto por bacterias Gram-negativas que presentan una forma ligeramente curvada y son capaces de moverse gracias a flagelos. Estas bacterias muestran un gran potencial para realizar fijación biológica de nitrógeno y promover el crecimiento de las plantas (Bellés-Sancho *et al*., 2023). A diferencia de las especies de *Burkholderia*, los miembros del género *Paraburkholderia* rara vez se asocian con infecciones en seres humanos.

Dentro de la familia Burkholderiaceae, los miembros de *Paraburkholderia* forman un grupo monofilético, lo que llevó a su reconocimiento como un género independiente de *Burkholderia*. Esta distinción se basa en el descubrimiento de inserciones conservadas de aminoácidos (CSIs, por sus siglas en inglés) que son exclusivas de las especies de *Paraburkholderia* y que no se encuentran en las especies del género *Burkholderia* (Dobritsa & Samadpou, 2019). Estas CSIs permiten diferenciar este género de todas las demás bacterias y proporcionan evidencia de que representan linajes separados.

Asimismo, se han identificado CSIs conservadas dentro del género *Paraburkholderia*, lo que coincide con análisis filogenómicos que indican la existencia de dos clados monofiléticos en este género. Uno de estos clados incluye a especies sin nombre y a *Candidatus* Paraburkholderia, mientras que el otro clado agrupa a *Paraburkholderia* que se encuentran en entornos ambientales (Sawana *et al*., 2014) y que a menudo se utilizan

con fines agrícolas. Estas CSIs específicas proporcionan un nivel adicional de resolución filogenética dentro de este género.

A pesar de que las CSIs son un recurso útil para identificación de dichas bacterias, los análisis filogenéticos de diferentes genes, como el 16S, nos ayudan en la actualidad a clasificar taxonómicamente a dichos organismos (Herpell *et al.*, 2021)

1.5.2 Fijación de nitrógeno

Algunas especies de *Paraburkholderia*, como *Paraburkholderia kururiensis*, tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con las raíces de las plantas (Dias *et al*., 2019). Esto significa que pueden tomar nitrógeno molecular del aire y convertirlo en una forma que las plantas pueden utilizar (amoníaco o nitratos). Las bacterias del género *Paraburkholderia* que pueden fijar nitrógeno a menudo establecen una asociación simbiótica con las raíces de las plantas (Wang *et al*., 2021). En esta relación mutualista, las bacterias colonizan las raíces de las plantas y reciben nutrientes orgánicos de las plantas a cambio de nitrógeno fijado. Las bacterias fijadoras de nitrógeno, incluidas algunas *Paraburkholderia*, contienen enzimas llamadas nitrogenasas (Bellés-Sancho *et al*., 2021). Estas enzimas son responsables de la conversión del nitrógeno atmosférico (N_2) en amoníaco (NH_3) o nitratos (NO_3^-). El proceso de fijación de nitrógeno es altamente energético y requiere la participación de estas enzimas. Este es un proceso anaeróbico, lo que significa que ocurre en ausencia de oxígeno. Las bacterias fijadoras de nitrógeno, tienen mecanismos para proteger las enzimas nitrogenasas de la exposición al oxígeno. Esto puede implicar la formación de nódulos en las raíces de las plantas (Sheu *et al*., 2012) donde el ambiente es relativamente libre de oxígeno.

1.5.3 Producción de hormonas

Algunas cepas como *Paraburkholderia fungorum* BRRh-4 y BTL-M2, tienen la capacidad de producir ácido indolacético (AIA por sus siglas en inglés), y de solubilizar fósforo *in vitro* (Khan *et al*., 2017). Por ejemplo, la mejora en el crecimiento de las raíces y brotes en plántulas de arroz podría estar relacionada con la producción de AIA y la capacidad de solubilización de fósforo de estas cepas (Méndez-Gómez *et al*., 2021).

Se ha informado de una asociación entre la producción de fitohormonas y la promoción del crecimiento de raíces y brotes por parte de bacterias probióticas (Hu *et al*., 2021). Varios estudios han señalado que las bacterias probióticas para plantas influyen en la producción de biomasa vegetal mediante la producción de fitohormonas, la solubilización de fósforo y otros mecanismos (Khan *et al*., 2017; Méndez-Gómez *et al*., 2021, Hu *et al*., 2021, Sharma & Shukla, 2021). El aumento en el peso de los brotes de plántulas de arroz podría estar relacionado con la producción de AIA, la fijación de nitrógeno atmosférico y la solubilización de elementos nutritivos esenciales en el suelo por parte de las cepas bacterianas BRRh-4 y BTL-M2 (Islam *et al*., 2023).

1.5.4 Competencia contra patógenos

La especie *P. phytofirmans* es capaz de retrasar el desarrollo del fitopatógeno *Botrytis cinérea*, el cuál es un hongo gris que causa putrefacción en las plantas y frutos de varias especies vegetales de importancia comercial, como las uvas de la viña (Miotto Vilanova *et al*., 2022). En el caso de la cepa DCY113^{T} de *Paraburkholderia panacisoli*, se encontró que presenta actividad antifúngica en contra del patógeno *Cylindrocarpon destructans*, la cual afecta a narcisos y jengibre (Huo *et al*., 2020).

1.5.5 *Paraburkholderia unamae* MTI-641^{T}

La especie *Paraburkholderia unamae* y en específico la cepa MTl-641^{T}, fue propuesta como candidata a BPCV en el 2004 por Jesús Caballero-Mellado y colaboradores, después de analizar 20 cepas del género *Burkholderia*. En el estudio también se exploró su capacidad de fijación de nitrógeno (Caballero-Mellado *et al*., 2004). Otras cepas como CK43B, que fue hallada en la rizosfera de plantas del género *Shorea*, solo son capaces de crecer en un medio con exceso de indol en presencia de ácido gálico, un polifenol vegetal simple. Esto sugiere que la cepa CK43B, depende de la producción de sustancias producidas por las plantas para poder degradar compuestos aromáticos (Kim, 2013). Por último, *P. unamae* ha mostrado la capacidad de proteger al hongo *Aspergillus*, en contra del compuesto fenazina, actuando como una especie de esponja que absorbe la mayor cantidad del compuesto fungicida (Dahlstrom & Newman, 2022).

1.6 *Sphingomonas* sp.

1.6.1 Generalidades

El género *Sphingomonas* incluye bacterias Gram-negativas que se encuentran en diversos ambientes, incluyendo suelos, agua y ambientes acuáticos (Steinberg & Burd, 2015). Son conocidas por su capacidad de degradar compuestos orgánicos y pueden estar involucradas en la biodegradación de contaminantes (Zhao *et al*., 2017). *Sphingomonas* sp. OF-178 y otras cepas son conocidas por su capacidad de degradar contaminantes ambientales como hidrocarburos y compuestos aromáticos (Zhou *et al*., 2022). Esto las hace relevantes en la biorremediación de suelos y agua contaminados. También, las bacterias de este género son conocidas por su capacidad de producir biopolímeros, como el esfingano, que se utiliza en diversas aplicaciones biotecnológicas y farmacéuticas (Huang *et al*., 2022). Las bacterias del género *Sphingomonas* pueden establecer relaciones simbióticas con plantas y promover el crecimiento de las mismas, al igual que algunas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Luo *et al*., 2019). *Sphingomonas* sp. OF-178 y otras han sido objeto de investigación en microbiología y biotecnología debido a sus capacidades de degradación de compuestos orgánicos y su potencial en aplicaciones ambientales y biotecnológicas (Lombardino *et al*., 2022).

1.6.2 Hábitat

El género *Sphingomonas* es un grupo diverso de bacterias que se encuentra en una variedad de hábitats en la Tierra. Estas bacterias a menudo se encuentran en entornos acuáticos, como ríos, lagos, arroyos y agua de lluvia (Balkwill *et al*., 2006). Algunas especies de *Sphingomonas* son capaces de degradar compuestos orgánicos presentes en el agua, lo que las convierte en componentes clave de los ciclos biogeoquímicos en estos hábitats (Ruan *et al*., 2020). Estas bacterias se encuentran en suelos de diversos tipos, incluidos suelos agrícolas y de bosques (Leys *et al*., 2004). Algunas especies de *Sphingomonas* tienen la capacidad de degradar contaminantes orgánicos en el suelo, lo que las convierte en candidatas útiles para la biorremediación de suelos contaminados. Estas bacterias también son conocidas por habitar ambientes extremos, como aguas termales o suelos contaminados con metales pesados (Wang & Pecoraro, 2021; Hu *et al*., 2021). Las *Sphingomonas* son

comunes en la rizosfera (Wang *et al*., 2022). En este ambiente, pueden establecer relaciones simbióticas o mutualistas con las plantas, ayudando en la solubilización de nutrientes y promoviendo el crecimiento de las plantas. Algunas especies de *Sphingomonas* se utilizan en aplicaciones industriales y en el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad para degradar compuestos orgánicos y metales pesados (Wu *et al*., 2018).

1.6.3 Biorremediación

Las bacterias del género *Sphingomonas* tienen una capacidad notable de biorremediación, lo que significa que pueden degradar y descomponer contaminantes orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente. Esto las hace valiosas en aplicaciones de limpieza y restauración ambiental. Muchas especies de *Sphingomonas* tienen pueden degradar compuestos orgánicos, como hidrocarburos, compuestos aromáticos, pesticidas y otros productos químicos contaminantes (Zhou *et al*., 2022; Saeed *et al*., 2023). Estas bacterias pueden utilizar estos contaminantes como fuente de carbono y energía, descomponiéndolos en productos menos tóxicos. Por ejemplo, algunas especies del género *Sphingomonas* son conocidas por degradar contaminantes como el benceno, el tolueno, el xileno y el fenol (Leys *et al*., 2004). Algunas especies de *Sphingomonas* como *Sphingomonas* sp. LB126 y *S. paucimobilis* EPA505 han desarrollado adaptaciones que les permiten sobrevivir y prosperar en ambientes contaminados. Estas bacterias pueden tolerar altas concentraciones de contaminantes y pueden metabolizar estos compuestos, lo que las hace adecuadas para la biorremediación de suelos y aguas contaminadas. Las *Sphingomonas* a menudo producen enzimas especializadas que son capaces de degradar contaminantes específicos. Estas enzimas, como las monooxigenasas y las dioxigenasas, facilitan la conversión de compuestos químicos complejos en productos menos tóxicos o más fácilmente degradables (Takeo *et al*., 2020). Además de la degradación de contaminantes orgánicos, algunas *Sphingomonas* son capaces de tolerar y acumular metales pesados como el cromo, el plomo y el cadmio (Feng *et al*., 2016). Estas bacterias pueden ayudar en la eliminación de metales pesados tóxicos del suelo y del agua. También son especialmente útiles en la rizorremediación, un proceso en el que se utilizan plantas junto con bacterias en la rizosfera para eliminar contaminantes del suelo. *Sphingomonas* sp. en la rizosfera pueden colaborar con las

plantas al degradar contaminantes orgánicos y mejorar la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Khan *et al*., 2022).

1.6.4 Biopolímeros

Las bacterias del género *Sphingomonas* son conocidas por su capacidad de producir polímeros extracelulares, especialmente polisacáridos, que tienen diversas aplicaciones biotecnológicas e industriales (Huang *et al*., 2022). Estos polímeros a menudo se producen en cantidades significativas y pueden ser utilizados en una variedad de campos. *Sphingomonas* sp. tienen la capacidad de secretar sustancias poliméricas extracelulares, que son compuestos poliméricos formados por azúcares. Estos polisacáridos pueden tener diversas estructuras y propiedades, lo que les permite cumplir una serie de funciones biológicas y aplicaciones prácticas (Bahl, 2010). Especies pertenecientes a este género, son conocidas por su capacidad de producir gomas microbianas (McArdle & Hamill, 2011). Estas gomas son polisacáridos que pueden formar geles viscosos y tienen aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica como agentes espesantes y estabilizadores (Onyeaka & Nwabor, 2022). También, las *Sphingomonas* pueden formar biopelículas en diversas superficies, lo que es especialmente relevante en aplicaciones industriales y de biotecnología, como la industria de alimentos, la producción de bioplásticos y la industria química (Czieborowski *et al*., 2020; Carrascosa *et al*., 2021; Chattopadhyay *et al*., 2022). Algunas especies de *Sphingomonas* son capaces de producir EPS que contienen grupos funcionales capaces de absorber y retener metales pesados. Esto tiene aplicaciones en la biorremediación de suelos y aguas contaminados con metales tóxicos (Chattopadhyay *et al*., 2022). Algunas cepas de *Sphingomonas* pueden producir polihidroxialcanoatos (PHA), que son bioplásticos biodegradables (Shah *et al*., 2021). Estos bioplásticos tienen aplicaciones en la industria de los materiales plásticos y pueden contribuir a reducir la contaminación plástica. Los polisacáridos producidos por *Sphingomonas* a menudo son estudiados por sus propiedades biológicas, como la el hecho de modular la respuesta inmune (Tito *et al*., 2022). Esto tiene aplicaciones potenciales en la fabricación de productos farmacéuticos y biomateriales. Algunas especies de *Sphingomonas* producen EPS con propiedades gelificantes y espesantes, lo que los hace

útiles en la industria alimentaria para la fabricación de alimentos procesados y productos alimenticios específicos.

1.6.5 Promoción del crecimiento vegetal

Las bacterias del género *Sphingomonas* han demostrado promover el crecimiento vegetal a través de diversos mecanismos. Esta promoción del crecimiento vegetal (PGV) se produce a través de interacciones benéficas entre las bacterias y las plantas (Yang, 2014). Algunas especies de *Sphingomonas* producen fitohormonas, como las auxinas. Las auxinas son compuestos que influyen en el crecimiento de las plantas, promoviendo la elongación de las raíces y el desarrollo de brotes (Xu *et al*., 2018). La producción de auxinas por parte de las *Sphingomonas* puede estimular el crecimiento de las plantas al influir en su morfología y desarrollo. Las *Sphingomonas* pueden solubilizar nutrientes, como el fósforo, que están presentes en el suelo, pero no son fácilmente accesibles para las plantas (Abe *et al*., 2014). Al solubilizar estos nutrientes, las bacterias ayudan a las plantas a obtener los nutrientes esenciales que necesitan para su crecimiento óptimo. Algunas *Sphingomonas* protegen a las plantas contra patógenos dañinos. Esto se logra a través de la competencia por recursos con los patógenos y la producción de metabolitos que inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales (Yu *et al*., 2022). Al reducir la incidencia de enfermedades, las plantas pueden crecer más saludables y fuertes. Estas bacterias también pueden mejorar la capacidad de las plantas para absorber agua, lo que es crucial para el crecimiento saludable de las plantas. Esto se logra al modificar el entorno del suelo para que retenga mejor la humedad y sea más accesible para las raíces de las plantas (Wang *et al*., 2022). Algunas especies de *Sphingomonas* degradan compuestos químicos tóxicos en el suelo (Zhou *et al*., 2016). Al descomponer estos contaminantes, las bacterias pueden ayudar a eliminar factores estresantes del suelo que de otra manera afectarían negativamente el crecimiento de las plantas. Las *Sphingomonas* pueden formar asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, en particular en la rizosfera. Esto promueve una interacción beneficiosa donde las bacterias proporcionan nutrientes y protección a las plantas, y a cambio, obtienen nutrientes orgánicos exudados por las raíces de las plantas (Luo *et al*., 2019).

1.7 *Azospirillum brasilense*

1.7.1 El género *Azospirillum*

Azospirillum son bacterias capaces de fijar nitrógeno y promueve el crecimiento de plantas (Steenhoudt & Vanderleyden, 2000). *Azospirillum brasilense* sp. 7^T es una cepa específica que ha sido objeto de investigación en el campo de la agricultura y la biotecnología. *A. brasilense* sp. 7^T es una bacteria diazotrófica, lo que significa que puede convertir el nitrógeno atmosférico en amoniaco, el cuál puede ser metabolizado por las plantas (Cruz-Hernández *et al*., 2022). Esto ayuda a las plantas a obtener nitrógeno de una manera más sostenible y reduce la necesidad de fertilizantes nitrogenados. *A. brasilense* sp. 7^T tiene la capacidad de colonizar las raíces de las plantas y establecer una relación simbiótica con ellas (Santos *et al*., 2019). Al hacerlo, puede mejorar la absorción de nutrientes, la resistencia al estrés y el crecimiento de las plantas hospedantes (Lade *et al*., 2018). Esto hace que sea una candidata valiosa como bacteria promotora del crecimiento vegetal. Debido a su capacidad para promover el crecimiento de las plantas y mejorar la disponibilidad de nutrientes, las cepas del género *Azospirillum*, incluyendo sp. 7^T, se han investigado y utilizado en la agricultura para aumentar la productividad de los cultivos de manera más sostenible (Gómez-Godínez *et al*., 2021). La cepa sp. 7^T ha sido objeto de investigación en estudios sobre interacciones planta-microorganismo, fijación de nitrógeno y su aplicación en la agricultura.

1.7.2 Fijación de nitrógeno y promotor del crecimiento vegetal

La fijación de nitrógeno proporciona una fuente adicional de este nutriente esencial para las plantas, lo que puede aumentar la producción de cultivos y reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Tapia-Olivares *et al*., 2019). *A. brasilense* es conocida por su capacidad de producir fitohormonas, en particular las auxinas, como el AIA (Peng *et al*., 2021). Estas fitohormonas influencian el desarrollo de las plantas, promoviendo la formación de raíces más fuertes y profundas, así como una mayor ramificación y crecimiento de brotes. La bacteria tiene la capacidad de solubilizar el fósforo presente en el suelo, convirtiéndolo en una

forma asimilable por las plantas (Sun *et al*., 2022). El fósforo es esencial para el crecimiento de las plantas, y esta capacidad aumenta la disponibilidad de este nutriente. *A. brasilense* coloniza las raíces de las plantas y puede mejorar la absorción de agua y nutrientes, lo que es particularmente beneficioso en condiciones de estrés hídrico (Kasim *et al*., 2021). Además, la bacteria puede ayudar a las plantas a absorber micronutrientes esenciales. *A. brasilense* puede activar respuestas de defensa en las plantas, haciéndolas más resistentes a enfermedades y patógenos (Fukami *et al*., 2017). Esto mejora la salud general de las plantas y reduce la necesidad de pesticidas.

1.7.3 Uso agrícola

A. brasilense promueve la absorción de nutrientes esenciales, incluidos los micronutrientes, a través de la estimulación de las raíces. Esto es especialmente útil en suelos con condiciones adversas o deficiencias nutricionales (Boleta *et al*., 2020; da Silva Oliveira *et al*., 2023). *A. brasilense* puede ayudar a las plantas a resistir mejores condiciones de estrés, como sequías, salinidad o ataques de patógenos (Cohen, *et al*., 2015; Cassan *et al*., 2021; Zachariah *et al*., 2023). Esto mejora la supervivencia y el rendimiento de los cultivos en condiciones difíciles. La incorporación de *A. brasilense* en sistemas de agricultura sostenible puede mejorar la calidad del suelo y reducir la degradación del mismo. Al mantener la salud del suelo y aumentar la productividad de los cultivos, se promueve la sostenibilidad agrícola a largo plazo (Silva *et al*., 2022). Al disminuir la necesidad de fertilizantes químicos y pesticidas, el uso de *A. brasilense* puede reducir la contaminación del suelo y del agua, lo que beneficia al medio ambiente.

1.7.4 Importancia para la investigación científica

La capacidad de *A. brasilense* para fijar nitrógeno atmosférico en una forma asimilable por las plantas es un tema central de investigación. Los estudios pueden abordar la eficiencia de la fijación de nitrógeno en diferentes condiciones de suelo y cultivo, así como la contribución de la bacteria a la nutrición de las plantas (Tahir *et al*., 2022). El genoma de *A. brasilense* se investiga para comprender mejor sus capacidades y

adaptaciones (Wisniewski-Dyé *et al*., 2014). Esto puede conducir al desarrollo de cepas mejoradas para aplicaciones agrícolas y biotecnológicas (Martin-Didonet *et al*., 2000; Wisniewski-Dyé *et al*., 2012; Koul *et al*., 2020). Los estudios exploran cómo la presencia de *A. brasilense* afecta a otros microorganismos en el suelo y cómo estas interacciones influyen en la salud del suelo y de las plantas (Fibach-Paldi *et al*., 2012; Yasuda *et al*., 2022). Investigaciones más amplias se centran en la incorporación de *A. brasilense* en prácticas agrícolas sostenibles y agroecológicas con el objetivo de mejorar la producción de alimentos y reducir el impacto ambiental que provoca el uso de fertilizantes químicos (Cruz-Hernández *et al*., 2022).

II. JUSTIFICACIÓN

Sonchus oleraceus, la cerraja o lechuga silvestre, es una planta con propiedades nutricionales, antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y diuréticas. A pesar de estos atributos, se requiere una mayor investigación para comprender plenamente sus beneficios y posibles aplicaciones en el campo de la medicina. Sin embargo, los estudios que se han enfocado en esta planta y los posibles beneficios que puedan aprovecharse de ella, no son estandarizados, ya que en ellos se obtienen muestras silvestres en donde no se consideran factores del crecimiento de la planta como el riego, el tipo de suelo, la edad, o las partes de la planta de donde se obtienen las muestras. Más aun, no ha habido una propuesta para evaluar el efecto de bacterias promotoras del crecimiento en el desarrollo de la planta. Tampoco se han realizado estudios en los que se evalúe la colonización de alguna BPCV en la especie *S. oleraceous*.

Aunque se han llevado a cabo pruebas con diversas especies vegetales para evaluar el efecto de *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal 5^T, *Paraburkholderia unamae* MTI-641^T, *Sphingomonas* sp. OF178, *Azospirillum brasilense* sp. 7^T y *Pseudomonas putida* KT2440, sobre su colonización, no se han encontrado antecedentes de tal evaluación en *S. oleraceous*. Esto subraya la necesidad de realizar un estudio utilizando a estas cinco cepas en *S. oleraceous* y evaluar su habilidad para colonizar la planta.

Tampoco se han realizado estudios de adherencia en *S. oleraceus* con respecto a ninguna de las bacterias previamente mencionadas. En este trabajo se eligió a *Pseudomonas putida* KT2440 para evaluar la adherecia de esta cepa en las raíces de las plántulas de *S. oleraceus* y el efecto que tiene sobre su crecimiento en un experimento controlado, donde los factores como el tipo de suelo, el riego, la temperatura y las horas luz estén rigurosamente controlados para comprender de manera precisa el efecto de esta bacteria en el desarrollo de la planta.

III. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la inoculación de *Pseudomonas putida* KT2440, *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal 5^T, *Azospirillum brasilense* sp. 7^T, *Paraburkholderia unamae* MTI-641^T y *Sphingomonas* sp. OF178 sobre el crecimiento de plántulas de *Sonchus oleraceus.*

IV. OBJETIVOS PARTICULARES

Evaluar la capacidad de las cinco bacterias para colonizar a la rizosfera de *Sonchus oleraceus* por separado y en consorcio.

Evaluar la adherencia de *Pseudomonas putida* KT2440 en *S. oleraceus.*

Comparar el peso fresco de plantas de *S. oleraceus* inoculadas con *P. putida* KT2440 contra plántulas no inoculadas.

V. HIPÓTESIS

Si el inoculante bacteriano ejerce un efecto beneficioso en el crecimiento de *Sonchus oleraceus*, entonces se espera que las plantas inoculadas muestren un incremento significativo en su peso en comparación con aquellas no inoculadas con bacterias.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Identificación de la planta *Sonchus oleraceus*

Individuos adultos de *S. oleraceus* fueron colectados en la localidad de Puebla, Pue. (18.988099292651608, -98.21324931708122). Estas muestras se procesaron en una prensa botánica y posteriormente, se entregaron al

Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) con el fin de catalogar e identificar las muestras.

6.2 Recolección de semillas de *Sonchus oleraceus*

Las semillas de *S. oleraceus* fueron colectadas de individuos silvestres que se encontraron en la localidad de Puebla, Pue (18.988099292651608, -98.21324931708122) en el mes de julio (2020). Las semillas fueron almacenadas en contenedores de plástico transparente con tapa y sustrato (virutas de algodón). Los contenedores fueron resguardados en un lugar seco y oscuro.

6.3 Germinación de semillas

Para desarrollar un método confiable en el que las semillas de *S. oleraceus* pudieran germinar, se realizaron distintas pruebas que consistían en cambiar parámetros como agua, tipo de suelo, temperatura y profundidad a las que se sometía el proceso de germinación de semillas de *S. oleraceus*. En cada prueba (Tabla 1), se usaron tres contendedores transparentes de 28 cm x 19 cm x 7 cm y se plantaron alrededor de 30 semillas de *S. oleraceus*. En la primera prueba, el contenedor tenía como sustrato 100% de vermiculita, el segundo 100% de humus de lombriz y el tercero una mezcla de 50% humus con 50% vermiculita (todos con la misma cantidad de volumen) y se agregaron 150 ml de agua embotellada (ab) en cada contenedor. En la segunda prueba, utilizando una mezcla de 50/50 de humus con vermiculita, se usó agua del grifo, agua embotellada y agua obtenida de un purificador de ósmosis inversa (150 ml). En la tercera prueba, utilizando una mezcla de 50/50 de humus y vermiculita y ab, se cambió la cantidad de agua, en 150 ml, 200 ml y 400 ml. En la cuarta prueba (50/50 sustrato, 150 ml ab), se ubicaron los contenedores en diferentes zonas con respecto a la luz solar, el primer contenedor en completa oscuridad, el segundo en resolana y el tercero en sol directo. En la quinta prueba, (50/50 sustrato, 150 ml ab, oscuridad) se modificó la temperatura de los contenedores utilizando placas térmicas con termostato; 24 °C en el primero, 27 °C en el segundo y 35 °C en el tercero. Finalmente, en la última prueba (50/50, 150 ml ab, oscuridad, 27 °C) se cambió la profundidad a la que estaban sembradas las

semillas, en el primer contenedor las semillas fueron colocadas al ras del suelo, en el segundo, se le aplicó una capa de 1 mm de tierra y en el tercero se sembraron a 1 cm de profundidad.

Tabla 1.

Pruebas de germinación en donde se cambiaron parámetros como el sustrato, la pureza del agua, la cantidad de agua, la cantidad de luz solar, la temperatura y la profundidad en las que se sembraron las semillas de *Sonchus oleraceus*.

	Contenedor		
	1	2	3
Prueba 1	100% vermiculita	100% humus	50% vermiculita 50% humus
	150 ml de agua embotellada		
Prueba 2	150 ml de agua grifo	150 ml de agua embotellada	150 ml de agua de purificador de ósmosis inversa
	50% humus y 50% vermiculita		
Prueba 3	150 ml	200 ml	400 ml
	50% humus y 50% vermiculita con agua embotellada.		
Prueba 4	Oscuridad completa	Resolana	Luz solar directa
	50% humus y 50% vermiculita con 150 ml de agua embotellada.		
Prueba 5	24 °C	27 °C	35 °C
	50/50 humus y vermiculita, 150 ml agua embotellada, resolana.		
Prueba 6	Al ras del suelo*	1 mm profundidad**	1 cm profundidad

	50/50, 150 ml agua embotellada, resolana, 27 °C

*90% de germinación. **40% de germinación

Utilizando el método con la taza de germinación más alta (90%), las semillas de cerraja fueron germinadas y resembradas a lo largo de dos generaciones. Las semillas fueron sembradas en dos almácigos de 50 celdas cada uno. Cada celda tuvo un tamaño aproximado de: 4.5 x 4.5 x 8 cm. El sustrato de los almácigos estuvo compuesto de una mezcla de 50% vermiculita y 50% humus de lombriz (lombricomposta).

6.4 Medios de cultivo e inoculante

Los medios (Tabla 2) se esterilizaron usando una autoclave a 21 psi durante 20 minutos.

Las muestras de cada bacteria fueron obtenidas de la colección del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, BUAP. Las muestras fueron sembradas en tubos cónicos de polipropileno de 50 ml con su respectivo medio de cultivo líquido (10 ml) durante 24 h a 30 ºC. Del medio incubado, se cuantificaron las UFC/mL utilizando el método de goteo en placa (Corral-Lugo *et al*., 2012). Se agregaron 0.81 ml del medio incubado a un matraz aforado a 30 ml con medio estéril. El matraz se colocó en una incubadora con agitación bajo las mismas condiciones previamente mencionadas. Posteriormente, el contenido del matraz se vertió en un tubo estéril de polipropileno de 50 ml, para centrifugarlo a 2000 rpm por cinco minutos. El sobrenadante del contenido se vació y se realizó un lavado centrifugando el contenido con H_2O bidestilada estéril. El lavado se realizó en dos ocasiones. Seguido a esto, se obtuvo el paquete celular que fue resuspendido en el mismo volumen inicial, pero con agua destilada estéril. La suspensión obtenida se consideró como el inoculante para plantas de *Sonchus oleraceus*. El número de UFC/ml en el inoculante fue de $9x10^7$.

Tabla 2.

Medios de cultivo (100ml), antibióticos y pH, junto con sus respectivas bacterias.

Bacteria	**Medio**	**Antibiótico***	**pH**

KT2440	LB (0.5 g EL, 1g peptona, 1g NaCl, 1.6g agar).	100µl Cloranfenicol	
OF178	$LB_{5\%}$ (0.025g EL, 0.05g peptona, 0.05g NaCl, 1.6 agar, 120µl AB).	30µl Cloranfenicol 50µl Cefotaxina	
sp. 7^T	Rojo Congo (0.5g Ácido succínico, 0.5ml $_{10\%}K_2HPO_4$, .2ml $_{10\%}MgSO_4$, 0.05g EL, 0.15ml $_{10\%}FeCl_3$, .48g KOH, 1.5ml RC, 1.6g agar).	30µl Cefriaxona	6.7 – 7
MTI-641^T	BAc (0.5g ácido succínico, 0.4ml $_{10\%}K_2HPO_4$, 0.4ml $_{10\%}KH_2PO_4$, 0.2ml $_{10\%}MgSO_4$, 0.05g EL, 0.6ml AB, 1.6g agar)	30µl Ceftazidima 100µl Cefriaxona	5.5 – 5.7
Pal 5^T	LGI (10g azúcar, 0.2ml $_{10\%}K_2HPO_4$, 0.6ml $_{10\%}KH_2PO_4$, 0.2ml $_{10\%}MgSO_4$, 0.005g EL, 0.2ml $_{10\%}CaCl_2*2H_2O$, 20µl $_{10\%}NaMo_4*2H_2O$, 0.1ml $_{10\%}FeCl_3*6H_2O$, 0.6ml AB, 1.6g agar).	30µl Cefriaxona	5.5 – 5.7

EL= extracto de levadura; AB= azul de bromotimol; RC= Rojo Congo. *1 ml = 100,000 ug.

6.5 Colonización

Cada uno de los 7 tratamientos consistió en 50 semillas de *S. oleraceus* (F2) plantadas en 50 celdas. Cada celda tuvo un tamaño aproximado de: 4.5 x 4.5 x 8 cm. El sustrato de los almácigos estuvo compuesto de una mezcla de 50% vermiculita y 50% humus de lombriz (lombricomposta). Las semillas fueron inoculadas con cinco bacterias por separado, un tratamiento con el consorcio completo (mezcla), y un control (semillas sin inocular). Las semillas de *S. oleraceus* fueron inoculadas en el momento en el que fueron colocadas en cada una de las celdas. La inoculación se realizó colocando una gota de 10 µl de líquido que contenía $1x10^9$ UFC sobre las semillas después de colocarlas en sus respectivas celdas. Las plantas del control fueron regadas con agua estéril destilada. Las plantas crecieron durante 60 días con un fotoperiodo luz/oscuridad 16/8 a una temperatura 30/24 °C. Durante este periodo las plantas se regaron periódicamente con el método de capilaridad, llenando la bandeja de cada almácigo. Posterior a esto, cinco plantas al azar del control y cinco plantas al azar de cada experimento fueron extraídas de sus contenedores. La zona aérea de las plantas fue retirada y las raíces fueron introducidas en tubos estériles con agua destilada estéril. Los tubos fueron agitados y de cada tubo se tomó una muestra para realizar el recuento bacteriano por goteo en placa.

6.6 Adherencia

Las semillas de la segunda generación (F2) fueron sembradas en 2 almácigos de 50 celdas cada uno. Cada celda tuvo un tamaño aproximado de: 4.5 x 4.5 x 8 cm. El sustrato de los almácigos estuvo compuesto de una mezcla de 50% vermiculita y 50% humus de lombriz (lombricomposta). Los almácigos se colocaron en una cámara de crecimiento con un fotoperiodo luz/obscuridad 16/8 a una temperatura 30 °C luz y 24 °C oscuridad. Durante este periodo las plantas se regaron periódicamente a través de capilaridad, llenando la charola que cubría el fondo de los almácigos. Después de 3 días desde su germinación, las plántulas de cerraja fueron extraídas del almácigo. Las raíces de las plantas del tratamiento fueron sumergidas en el inoculante previo a ser replantadas. Las raíces de las plantas del control fueron sumergidas en agua destilada estéril. Posterior a esto, todas las plántulas fueron trasladadas a contenedores con vermiculita estéril. Después de 24 horas, cinco plantas al azar del control y cinco plantas al azar del experimento fueron extraídas de sus contenedores. La

zona aérea de las plantas fue retirada y las raíces fueron pesadas en peso fresco (PF) e introducidas en tubos estériles con agua destilada estéril. Los tubos fueron agitados y de cada tubo se tomó una muestra para realizar el recuento bacteriano por goteo en placa.

6.7 Análisis estadísticos

Para analizar la diferencia entre el PF de las raíces de las plantas del control y el PF de las raíces de las plantas de los tratamientos, se usó la prueba t de Welch, en donde la hipótesis nula (H0) fue que no existe diferencia entre los dos grupos de datos, y la hipótesis alternativa (Ha) es que sí existe diferencia entre los dos grupos de datos. El análisis se realizó utilizando el programa de computadora *R* junto con *Rstudio*.

VII. RESULTADOS

7.1 Pruebas de germinación

De acuerdo a las pruebas de germinación, el factor determinante fue la profundidad en la que se plantaron las semillas. La prueba que presentó la mayor tasa de germinación (90%) (fig. 3) fue la prueba en la que se colocaron las semillas directamente en el sustrato con 50% humus de lombriz y 50% lombricomposta, 150 ml de agua embotellada, resolana, a 27 °C. La otra prueba que presentó germinación (40%) fue en la que se colocaba una capa de 1 mm de tierra sobre las semillas. En todas las demás pruebas no hubo germinación.

Figura 3. Fotografía de una de las bandejas en donde se sembraron, germinaron y colectaron semillas de *S. oleraceus* utilizando el método de siembra al ras del suelo.

7.2 Colonización

A pesar de los múltiples esfuerzos de repetir el experimento de colonización en donde se inoculó a las plántulas de *S. oleraceus* con las cinco cepas bacterias, como resultado de la evaluación de colonización, no hubo presencia de bacterias en ninguno de los tratamientos ni del control bajo las condiciones evaluadas.

7.3 Adherencia de *P. putida* KT2440

En todos los tratamientos (Tabla 3) hubo presencia de *P. putida* KT2440 a diferencia de los grupos control. El tratamiento 1 mostrando la mayor carga bacteriana con $6x10^5$ UFC/ml y el tratamiento 4 mostrando la menor carga bacteriana con $3.333x10^4$ UFC/ml, con una media de 512,580.75 UFC/ml. Ninguna de las placas del control mostró presencia de *P. putida* KT2440 (fig. 4).

Tabla 3.

Unidades formadoras de colonias (UFC) en tratamientos en donde las plántulas fueron inoculadas con *P. putida* KT2440, donde T1-2-3, es igual a Tratamiento 1,2,3, etc.

UFC EN TRATAMIENTOS

T1	**$6x10^5$ UFC/ml**
T2	**$3.1666x10^5$ UFC/ml**
T3	**$5.8333x10^5$ UFC/ml**
T4	**$3.333x10^4$ UFC/ml**

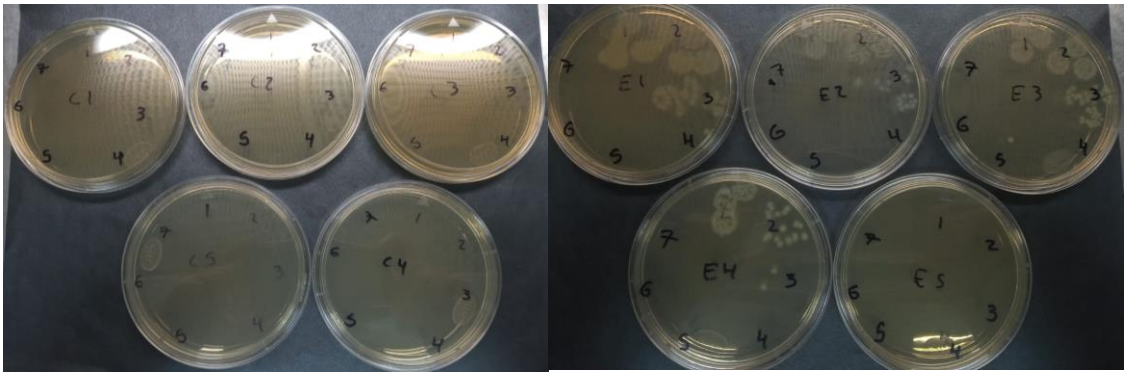


Figura 4. Placas de Petri con medio LB. La imagen de la izquierda muestra las placas control. La imagen de la derecha muestra las placas del tratamiento.

7.4 Peso fresco en plantas

La prueba t de Welch aplicada a ambos grupos (Tabla 4) reveló una estadística t aproximada de 2.037, con grados de libertad de 9.99 y un valor p de 0.06. El intervalo de confianza del 95%, calculado par a la diferencia entre las medias, varió entre aproximadamente -0.6264 y 13.9597. La media de la muestra para el grupo de tratamiento fue de 18.0, mientras que para el grupo de control fue de 11.33333.

Tabla 4.

Peso fresco en mg de las raíces de las plantas tanto del control como de los tratamientos.

PF de raíz en tratamientos (mg)	*PF en raíz de control (mg)*
19	4
17	18
10	15
14	5
25	11

VIII. DISCUSIÓN

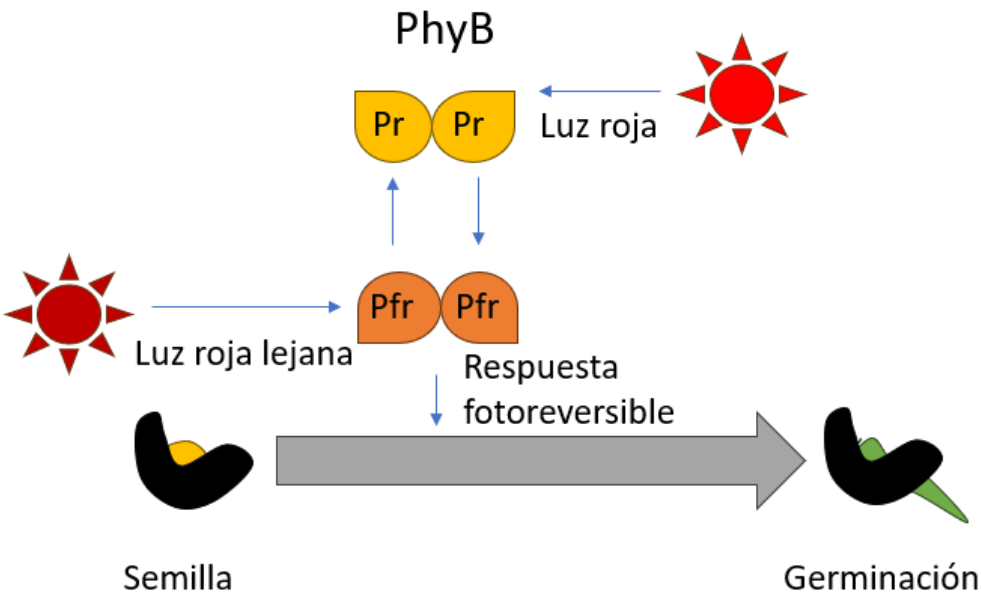
8.1 Germinación

Los factores más importantes para la germinación exitosa de una semilla son el agua, la temperatura y la cual es esencial para activar las enzimas que desencadenan el proceso de germinación (Haj Sghaier *et al*., 2020), la temperatura es un factor crítico y varía según la especie. Cada planta tiene una temperatura óptima para la germinación. Algunas semillas germinan mejor a temperaturas frías, mientras que otras requieren condiciones cálidas (Haj Sghaier, 2020; Santelices-Moya. 2020). Las variaciones de temperatura a lo largo del día y la noche también pueden ser importantes para algunas especies. La profundidad a la que se siembra una semilla es un factor clave. Algunas semillas necesitan estar sembradas a una profundidad específica para germinar adecuadamente, mientras que otras requieren estar cerca de la superficie del suelo (Proctor & Sullivan, 2013; Kluyver *et al*., 2013; Jørgensen *et al*., 2019).

En las seis pruebas que se realizaron, el factor determinante para la germinación de las semillas de *S. oleraceus* fue la profundidad a la que la semillas fueron colocadas. Esto es debido a que la germinación de las semillas de *S. oleraceus* está influenciada por varios factores, pero uno determinante para su germinación es la luz.

S. oleraceus es una planta que presenta fotoblastismo positivo (Górski *et al*., 2013), lo que significa que las semillas requieren la presencia de luz para germinar adecuadamente. Es decir, las semillas de cerraja necesitan estar expuestas a la luz o estar cerca de la superficie del suelo para germinar de manera efectiva. Cuando las semillas de *S. oleraceus* reciben luz, desencadenan una serie de respuestas fisiológicas (fig 5) que permiten su germinación y crecimiento. En este sentido, las plantas tienen cinco grandes tipos de fotorreceptores: UVR8, fototropinas, proteínas con caja F, criptocromos y fitocromos (Paik & Huq, 2019). En *Arabidopsis*, por ejemplo, PhyB, el fitocromo principal acumulado en las semillas, media la respuesta típica fotoreversible Roja/ Roja lejana o R/FR (LFR) por sus siglas en inglés, para promover la germinación de las semillas en la fase inicial de la imbibición de las semillas (fig. 5). Después de una imbibición prolongada en la oscuridad, PhyA se acumula en las semillas y promueve la germinación de las semillas en respuesta a una fluencia muy

baja de una amplia gama de longitudes de onda, desde UV-A hasta FR, o una irradiación relativamente más larga de luz FR (Seo *et al*., 2009; Warpeha & Montgomery, 2016)



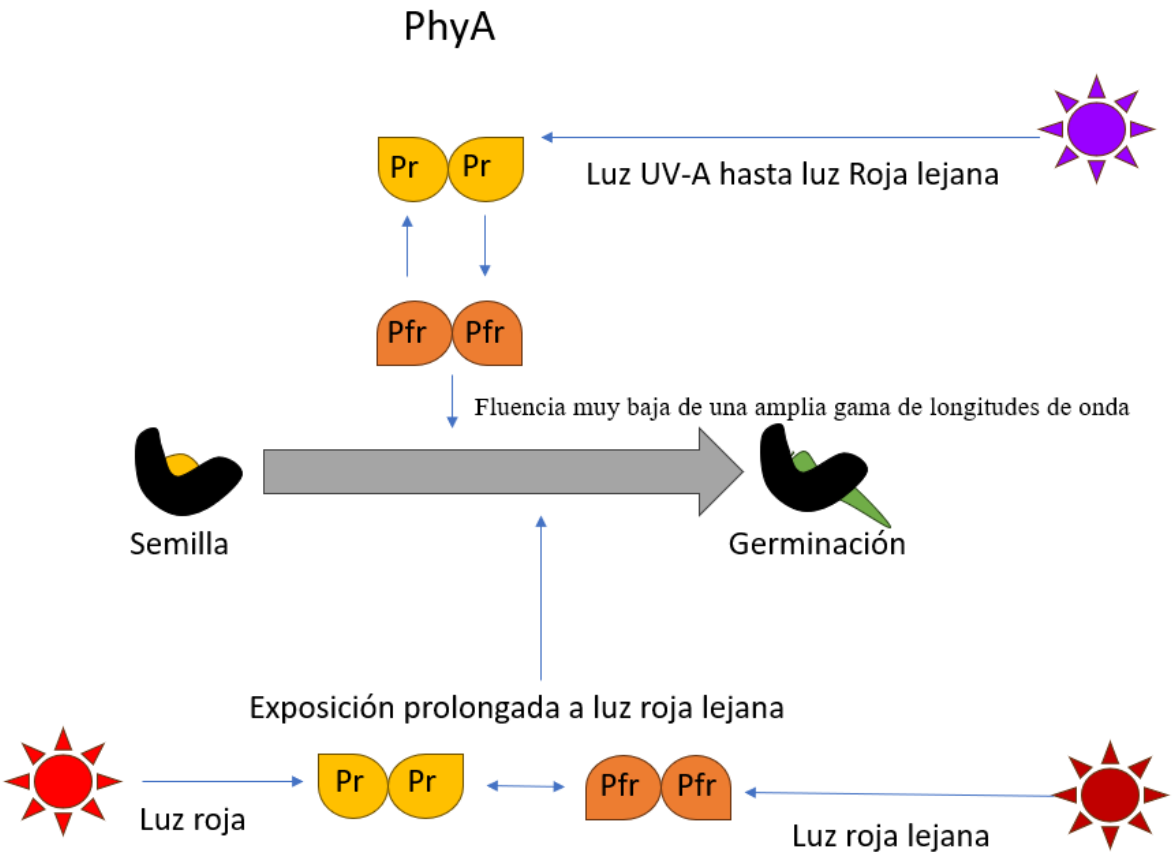


Figura 5. Diagramas en donde se explican dos modelos del mecanismo de acción de los fitocromos A (PhyA) y B (PhyB) en la germinación de una semilla. El primer diagrama muestra un escenario en el cual la semilla se encuentra en una etapa temprana de imbibición, y Pr es activada por una exposición de luz roja durante un determinado tiempo. Esto termina promoviendo la germinación de la semilla. Sin embargo, si Pfr es expuesta a luz roja lejana, esta se desactiva. En el segundo caso, es un momento tardío de la imbibición de la semilla, y Pr es activada por una exposición prolongada, pero de muy baja intensidad de una amplia gama de luz en diferentes longitudes de ondas. O también puede activarse por una exposición prolongada de luz roja lejana. *Pr es la forma inactiva del fitocromo. ** Pfr es la forma activa.

Como lo comprobó Bhagirath y colaboradores en el 2006, en donde determinan que la luz y la presencia o ausencia de salinidad es un factor determinante para la geminación de *S. oleraceus.* Dependiendo de que tan gruesa es la capa de suelo que cubre a las semillas, va a disminuir la cantidad de luz que reciban estas mismas, por lo tanto, la tasa de germinación es inversamente proporcional a la profundidad en la que son sembradas y directamente proporcional a la cantidad de luz que reciban.

En las pruebas de luz solar directa, indirecta y oscuridad, asumimos que la profundidad de las semillas era demasiada para que los rayos del sol pudieran llegar a la superficie de la semilla.

Además de la luz, otros factores como la temperatura, la calidad de la semilla y la presencia de agua también juegan un papel importante en la germinación de *S. oleraceus*. Sin embargo, la dependencia de la luz es un aspecto clave que distingue a esta planta y es un factor determinante en su ciclo de germinación.

8.2 Colonización

Se llevó a cabo una evaluación para determinar si había colonización bacteriana en una serie de tratamientos inoculados; con cinco especies bacterianas reportadas como promotoras del crecimiento vegetal en otras plantas (Morales-García *et al*., 2019) y en un grupo de control (no inoculado). Los resultados de la evaluación mostraron que no se detectó la presencia de las bacterias inoculadas en ninguno de los tratamientos evaluados ni en el grupo control. Esto significa que, en el contexto de este estudio específico, las bacterias evaluadas, no colonizaron las raíces de las plantas.

Esta información es fundamental para comprender que, en las condiciones y el contexto del estudio en cuestión, las bacterias no tuvieron un impacto detectable o no lograron establecerse en los sistemas evaluados.

La razón por la cual las bacterias no colonizaron las raíces de *S. oleraceus* puede deberse a varios factores. La capacidad de una bacteria para colonizar las raíces de una planta depende de una serie de interacciones complejas entre la bacteria, la planta y el entorno (Knights *et al*., 2021). Las plantas a menudo tienen una relación de coevolución con ciertos grupos de bacterias, y no todas las bacterias pueden colonizar todas las plantas (Mesny *et al*., 2023). Puede ser que las bacterias utilizadas en el estudio no sean las que *S. oleraceus* normalmente alberga en sus raíces, como es el caso de *S. asper* (Mei *et al*., 2022). En el suelo, hay una competencia intensa entre diversas bacterias por los recursos y el espacio en las raíces de las plantas. Incluso en las condiciones estériles a las que sometimos el suelo en los distintos tratamientos, la presencia de bacterias provenientes de la misma microbiota de la semilla podrían ser un factor determinante para una colonización exitosa. Estas bacterias pudieron haber competido con las bacterias utilizadas en el estudio, impidiendo su colonización.

En comparación con la prueba de adherencia, la técnica de inoculación también pudo haber sido un factor importante para promover la adherencia, y posteriormente la colonización en las raíces de *S. oleraceus*.

Por último, la planta podría estar produciendo compuestos antimicrobianos durante su desarrollo que inhabiliten el crecimiento de las bacterias en la rizosfera (Xia *et al*., 2011; Cappelli & Mariani, 2021).

8.3 Peso fresco de las raíces de las plantas

La estadística *t* de aproximadamente 1.7253 indica la relación entre la diferencia de medias ($17.0 - 10.6 \approx 6.4$) y el error estándar de la diferencia de medias. Esto sugiere que hay una diferencia entre los dos grupos (control y tratamiento). Con aproximadamente 7.9435 grados de libertad, este valor refleja el número de valores utilizados en el cálculo de la prueba *t*. El valor p es aproximadamente 0.123. Aunque este valor es mayor que el nivel de significancia común de 0.05, no es lo suficientemente pequeño como para rechazar la hipótesis

nula a un nivel de significancia de 0.05. La hipótesis alternativa indica que la diferencia real entre las medias no es igual a cero, lo que implica una prueba bidireccional. El intervalo de confianza de aproximadamente -2.1646 a 14.9646 incluye el valor 0. Esto significa que hay un rango de valores para la diferencia de medias que no es estadísticamente significativo a un nivel de 0.05. Las medias de la muestra para los grupos del tratamiento y control son de 17.0 y 10.6, respectivamente. Esto sugiere que, en promedio, el grupo del tratamiento tiene pesos de raíces más altos en comparación con el grupo de control.

El valor p de aproximadamente 0.123 es mayor que 0.05, lo que sugiere que no hay evidencia sólida para concluir que existe una diferencia estadísticamente significativa en los pesos promedio de las raíces entre el grupo de tratamientos y el grupo de control a un nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, la hipótesis nula no se rechaza.

Con respecto al crecimiento de las raíces, *P. putida* KT2440 pudiera tener una interacción mutualista o neutral con las raíces de las plantas. En las relaciones mutualistas, tanto la bacteria como la planta se benefician de su interacción, pero los beneficios pueden no manifestarse como un cambio significativo en el tamaño de las raíces. En interacciones neutrales, la bacteria y la planta pueden coexistir sin un impacto notable en el crecimiento de las raíces. Esto se ha demostrado con otras plantas, tanto cotiledóneas como monocotiledonas, en el caso de soya (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*), en donde solo bajo condiciones de estrés salino, hubo un efecto positivo en el crecimiento de las plantas (Costa-Gutierrez *et al*., 2020).

Otra de las razones por la cual no hubo un crecimiento significativo de las raíces de las plantas, es la posible ausencia del AIA. Como se ha mencionado previamente, el AIA es una fitohormona que promueve el crecimiento de las raíces en plantas (Patten y Glick 2002) y se produce a partir del triptófano. Las bacterias benéficas para el crecimiento de las plantas, sintetizan el AIA a través de la vía alterna dependiente del triptófano. Ya sea por la ausencia total o la falta de expresión de un gen de dicha vía, o algún otro factor que afecte la producción de dicha fitohormona, esto podría explicar la razón de la falta de crecimiento en raíz de

los tratamientos. Por último, el cambio en el crecimiento de las raíces podría verse reflejado simplemente en la etapa de colonización o en algún otro tiempo posterior a la adherencia.

8.4 Adherencia

La adherencia es el primer paso para que una bacteria logre establecerse (Vázquez-Martínez & Muñoz-Rojas, 2023). Como previamente no se detectaron bacterias colonizando las raíces de las plantas, se decidió realizar un experimento corto para evaluar la adherencia de una bacteria. Seleccionamos a *P. putida* KT2440, dada su versatilidad para colonizar a diversos ambientes (Molina-Romero *et al*., 2017). Sin embargo, en acuerdo con los resultados presentados en este trabajo, la adherencia de *P. putida* KT2440 fue bastante baja, lo que coincidió con la no detección de la colonización de la misma en las plantas de *S. oleraceus*.

La adherencia exitosa de bacterias a las raíces de *S. oleraceus* puede depender de varios factores y mecanismos. Algunas bacterias tienen adaptaciones moleculares que les permiten reconocer y adherirse a las superficies de las raíces de plantas específicas. Este reconocimiento puede ser un paso fundamental para la adhesión exitosa (Espinosa-Urgel *et al*., 2000). Las bacterias pueden producir proteínas de adhesión llamadas adhesinas que les permiten unirse a las células vegetales. Las adhesinas pueden tener interacciones específicas con receptores en las raíces de la planta (Liu *et al*., 2019).

En este caso, *P. putida* KT2440 también podría formar biofilms en las superficies de las raíces. Los biofilms son comunidades bacterianas organizadas que ayudan en la adhesión y proporcionan un entorno protegido para el crecimiento bacteriano (Liu *et al*., 2017). Las raíces de *S. oleraceus* liberan exudados, compuestos orgánicos que pueden atraer o nutrir ciertas bacterias (Mahmoud *et al*., 2014). Las bacterias pueden ser atraídas por estos exudados y adherirse en respuesta.

También, las bacterias pueden tener una afinidad química específica con las sustancias producidas por las raíces de la planta. Esta afinidad química puede favorecer la adhesión (Mei *et al*., 2022).

La comprensión de estos mecanismos es fundamental en la investigación de interacciones planta-microorganismo y puede tener aplicaciones en la agricultura y la mejora de la salud de las plantas, en

específico con *S. oleraceus.* Estos resultados ayudan a buscar nuevas respuestas y futuras investigaciones con respecto a la interacción entre BPC y la planta *Sonchus oleraceus* bajo condiciones controladas.

IX. GLOSARIO

1.1 Planta

1.1.1 Definición

Organismos fotosintéticos eucarióticos multicelulares que producen clorofila. Las plantas cuentan con raíces, que son órganos especializados para anclarlas en el suelo, con las cuales colectan agua, necesaria para su desarrollo. Su tallo provee de estructura para sostener a las hojas. Las hojas son los órganos más involucrados en el proceso de fotosíntesis (Raven *et al*., 2005).

1.1.2Tallo

El tallo es el órgano de la planta que soporta la región aérea, principalmente las hojas y las flores. La luz es uno de los recursos más importantes que requiere la planta, el cual se encuentra por encima del suelo. Por lo tanto, el tallo realiza la función de sostener a las hojas y distribuirlas, maximizando la absorción de luz (Raven *et al*., 2005).

1.1.3 Raíz

La raíz es un órgano de la planta que la ayuda a anclarse al suelo y absorbe agua y minerales para su mantenimiento. También depende de compuestos producidos en las hojas y el tallo, productos de la fotosíntesis. Un sistema vascular extenso conecta a la raíz con las hojas, el tallo y las flores. Este sistema ayuda al transporte de agua y minerales a través de toda la planta (Raven *et al*., 2005).

1.1.4 Flor

Las flores son el órgano reproductor de las plantas. La mayoría de las plantas se reproducen sexualmente. Las plantas que se reproducen con flor pertenecen al grupo de las angiospermas. El objetivo de la flor es el de asegurar la polinización, al estar expuesta al viento, o atrayendo a animales polinizadores (Raven *et al*., 2005).

1.1.5 Fruto

El fruto es responsable de dispersar a las semillas- en el agua, el viento pegado en un animal, o por gravedad. Las frutas que son duras o esclerótica, como las nueces, los cocos, y los cacahuates, ofrecen máxima protección a la semilla, pero son pesadas y requieren de un gasto metabólico alto. En este caso, la semilla también tendría que romper la cubierta de la fruta para poder germinar. En frutas más frágiles no existe ese problema. Las frutas que son atractivas o comestibles, son consumidas por animales, los cuales ayudan a su dispersión. La fruta cuenta con distintas capas, dependiendo del tipo de fruta al que pertenezca. El pericarpio es la parte del fruto que cubre a la semilla. El pericarpio se divide en epicarpio (capa exterior), mesocarpio (capa media, en ocasiones es la pulpa de la fruta) y endocarpio (capa que cubre directamente a la semilla), (Raven *et al*., 2005).

1.1.6 Semilla

La semilla es el embrión maduro de la planta. La semilla generalmente está compuesta del embrión, uno o dos cotiledones, endospermo, radícula, epicótilo, e hipocótilo. El cotiledón eses una hoja embrionaria, siendo las primeras hojas que crecen al germinar. El endospermo es un tejido que nutre al embrión durante su maduración y germinación. La radícula es la raíz embrionaria. El epicótilo es el tallo embrionario y el hipocótilo es la junta entre el tallo y la raíz embrionaria. En algunos casos, la cubierta de la semilla es el pericarpio (Mauseth, 2014)

1.1.7 Rizosfera

La rizosfera es el área alrededor de la raíz de la planta que es habitado por una comunidad de microorganismos influenciados por los compuestos químicos exudados de la propia raíz. La rizosfera se puede dividir en tres secciones, dependiendo de su proximidad hacia la raíz: la endorizosfera, la cual incluye algunas partes del córtex y la endodermis en donde los microbios y cationes ocupan un espacio libre entre las células de la raíz, el rizoplano, que es la región media, directamente adyacente a la raíz, incluyendo la epidermis y el mucílago y la ectorizosfera, la cuál se extiende desde el rizoplano, hasta la tierra o sustrato. La rizosfera no es una región que se pueda definir con exactitud debido a la complejidad de cada planta y sus interacciones con distintos

microorganismos. Por esto, se consideran en gradientes y sus propiedades químicas, biológicas y físicas para determinar su tamaño (McNear Jr., 2013).

1.2.1 Asteraceae

Asteraceae es una familia de plantas distribuidas a lo largo de todo el mundo. La familia Asteraceae consiste en 23,000 especies en 1,500 géneros. Las Asteraceae presentan casi todos los tipos de crecimiento, sin embargo, la mayoría son anuales o perennes. Casi todas las Asteraceas desarrollan flores pequeñas en grandes estructuras llamadas pseudantios, rodeadas por brácteas, que son hojas modificadas que recubren a la flor. Esto da la ilusión de que cada pseudantio representa una flor en la planta. Las Asteraceae presentan todos los tipos de hojas posibles. Las hojas pueden ser simples, lobuladas, unilobuladas, o formar varios compendios. Las Asteraceae presentan casi todos los tipos de vellosidades o tricomas. Esta familia tiene una importancia económica significativa, ya que con ella se producen aceites de cocina, hojas y semillas comestibles, agentes endulzantes, sustitutos de café y tés herbales. Algunas plantas producen látex (Mohlenbrock, 2017).

1.2.2 *Sonchus*

Sonchus es un género de plantas que abarca alrededor de 50 especies. *Sonchus* se distribuye en Norte América, el Medio Oriente, Asia, África y Europa. Las plantas del género *Sonchus* son herbáceas, anuales o perennes, que producen gran cantidad de látex. Las hojas son radicales, caulinares o caulinares amplexicaules. Las hojas son dentadas o pinnatisectas, espinadas en los márgenes. Presentan aurículas agudas. Capítulos con todas las flores liguladas, amarillas, con los estigmas verdosos. Las brácteas del involucro son glabras y en ocasiones presentan glándulas de color claro. Aquenios comprimidos, con 3 costillas en cada cara y vilano formado por pelos blancos. La mayoría son espinosas, con cabezas pequeñas de flores amarillas en clústeres. Miden de uno a seis pies de largo (0.3m- 1.8m). (Peerzada *et al*., 2019).

1.3.1 Ciclo de vida

1.3.2 Anual

Las plantas anuales, generalmente, completan su ciclo de vida desde la germinación hasta la producción de semillas en una temporada de crecimiento, y luego muere. La temporada de crecimiento varía dependiendo de la localización geográfica. Las plantas anuales se pueden dividir en dos temporadas de crecimiento: anuales de verano y anuales de invierno (respecto a las temporadas tradicionales) (Owensby, 1980).

1.3.3 Perenne

Las plantas perennes son plantas que viven más de dos años. Algunas plantas perennes que crecen en la primavera o el verano, mueren durante el otoño o el invierno, y renacen de sus raíces en el siguiente año) (Owensby, 1980).

2.1 Bacteria

2.1.1Definición

Las bacterias son microorganismos procariontes que generalmente miden de 0.2µm a 2µm. Los organismos procariontes son organismos que carecen de núcleo, son unicelulares, la mayoría cuenta con una pared celular, no cuentan con organelos membranosos y su cromosoma casi siempre es circular. La pared celular de la bacteria determina a qué tipo de bacteria pertenece, Gram positiva o Gram negativa. Las bacterias Gram positivas son bacterias que generalmente tienen una pared celular gruesa y cuentan con una membrana celular. Las bacterias Gram negativas, en comparación con las Gram positivas, cuentan con una pared celular menos gruesa y con dos membranas, una externa y una interna. La mayoría de las bacterias tienen formas como tubos o bacilos, esferas, o sacacorchos. Las bacterias pueden presentar estructuras externas de la pared celular, como flagelos, pili o cápsulas. Las bacterias se reproducen por fisión binaria, aunque también cuentan con mecanismos de transferencia horizontal. (Burmeister, 2015)

2.1.2Consorcio bacteriano

Un consorcio bacteriano es un grupo de dos o más especies bacterianas que trabajan en conjunto y funcionan en un nivel más alto de organización y productividad del que lo harían estando separadas. El éxito de los consorcios bacterianos se debe a distintos factores, por ejemplo, algunos aspectos del ciclo del nitrógeno requieren de reacciones separadas que son catalizadas por distintas bacterias. Los consorcios son más resistentes a la invasión de microorganismos competidores y tienen mejor capacidad de adaptación ante las fluctuaciones del ambiente (Madigan *et al*., 2018; Saharan y Nehra, 2011)

X. REFERENCIAS

1. Abe, K., Yoshida, S., Suzuki, Y., Mori, J., Doi, Y., Takahashi, S., & Kera, Y. (2014). Haloalkylphosphorus hydrolases purified from *Sphingomonas* sp. Strain TDK1 and *Sphingobium* sp. Strain TCM1. *Applied and environmental microbiology*, *80*(18), 5866–5873. https://doi.org/10.1128/AEM.01845-14.
2. Afolayan, A.J., Jimoh, F.O. (2008) Nutritional quality of some wild leafy vegetables in South Africa. *International journal of food sciences and nutrition. 60*, 424–431. https://doi.org/10.1080/09637480701777928.
3. Alonso-Torres, E., Panecatl Bernal, Y., Alvarado-Pulido, J. J., Fuentes-Ramírez, L. E., Martínez-Morales, J., Muñoz-Rojas, J., & Morales-García, Y. E. (2022). Rumbo a la generación de inoculantes en polvo a base de *Pseudomonas putida* KT2440. *Alianzas y Tendencias BUAP*, *7*(27), 87-116. https://doi.org/10.5281/zenodo.7099040.
4. Alquéres, S. M., Oliveira, J. H., Nogueira, E. M., Guedes, H. V., Oliveira, P. L., Câmara, F., Baldani, J. I., & Martins, O. B. (2010). Antioxidant pathways are up-regulated during biological nitrogen fixation to prevent ROS-induced nitrogenase inhibition in Gluconacetobacter diazotrophicus. *Archives of microbiology, 192*(10), 835–841. https://doi.org/10.1007/s00203-010-0609-1.

5. Amri, M., Rjeibi, M. R., Gatrouni, M., Mateus, D. M. R., Asses, N., Pinho, H. J. O., & Abbes, C. (2023). Isolation, identification, and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from Tunisian soils. *Microorganisms, 11*(3), 783. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms11030783.
6. Arencibia, A. D., Vinagre, F., Estevez, Y., Bernal, A., Perez, J., Cavalcanti, J., Santana, I., & Hemerly, A. S. (2006). *Gluconacetobacter diazotrophicus* elicits a sugarcane defense response against a pathogenic bacteria *Xanthomonas albilineans*. *Plant signaling & behavior, 1*(5), 265–273. https://doi.org/10.4161/psb.1.5.3390.
7. Bahl, M. A., Schultheis, E., Hempel, D. C., Nörtemann, B., & Franco-Lara, E. (2010). Recovery and purification of the exopolysaccharide PS-EDIV from Sphingomonas pituitosa DSM 13101. *Carbohydrate Polymers*, 80(4), 1037-1041. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.021.
8. Balkwill, D. L., Fredrickson, J. K., & Romine, M. F. (2006). *Sphingomonas* and Related Genera. En M. Dworkin, S. Falkow, E. Rosenberg, K. H. Schleifer, & E. Stackebrandt (Eds.), *The Prokaryotes* (pp. 230-248). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/0-387-30747-8_23.
9. Banaras, S., Javaid, A., Khan, I.H. (2020). Potential antifungal constituents of *Sonchus oleraceous* against *Macrophomina phaseolina*. *International Journal of Agricultural Biology, 24(5),* 1376-1382.
10. Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J.-P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant Soil 378*, 1–33. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x.
11. Bechtaoui, N., Rabiu, M. K., Raklami, A., Oufdou, K., Hafidi, M., & Jemo, M. (2021). Phosphate-dependent regulation of growth and stresses management in plants. *Frontiers in plant science, 12*, 679916. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.679916.
12. Bellés-Sancho, P., Lardi, M., Liu, Y., Hug, S., Pinto-Carbó, M. A., Zamboni, N., & Pessi, G. (2021). *Paraburkholderia phymatum* homocitrate synthase nifv plays a key role for nitrogenase activity during symbiosis with papilionoids and in free-living growth conditions. *Cells, 10*(4), 952. https://doi.org/10.3390/cells10040952.
13. Boleta, E. H. M., Galindo, F. S., Jalal, A., Mateus, J., Santini, K., Rodrigues, W. L., Lima, B. H. de, Arf, O., da Silva, M. R., Buzetti, S., & Teixeira Filho, M. C. M. (2020). Inoculation with growth-

promoting bacteria *Azospirillum brasilense* and its effects on productivity and nutritional accumulation of wheat cultivars. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.607262.

14. Burmeister A. R. (2015). Horizontal gene transfer. *Evolution, medicine, and public health*, *2015*(1), 193–194. https://doi.org/10.1093/emph/eov018.
15. Caballero-Mellado, J., Martínez-Aguilar, L., Paredes-Valdez, G., & Santos, P. E. L. (2004). *Burkholderia unamae* sp. Nov., an N2-fixing rhizospheric and endophytic species. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, *54*(Pt 4), 1165–1172. https://doi.org/10.1099/ijs.0.02951-0.
16. Cappelli, G., & Mariani, F. (2021). A systematic review on the antimicrobial properties of mediterranean wild edible plants: we still know too little about them, but what we do know makes persistent investigation worthwhile. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10*(9), 2217. https://doi.org/10.3390/foods10092217.
17. Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Saraiva, A., & Raposo, A. (2021). Microbial biofilms in the food industry-a comprehensive review. *International journal of environmental research and public health*, *18*(4), 2014. https://doi.org/10.3390/ijerph18042014.
18. Cassan, F. D., Coniglio, A., Amavizca, E., Maroniche, G., Cascales, E., Bashan, Y., & de-Bashan, L. E. (2021). The *Azospirillum brasilense* type VI secretion system promotes cell aggregation, biocontrol protection against phytopathogens and attachment to the microalgae *Chlorella sorokiniana*. *Environmental microbiology*, *23*(10), 6257–6274. https://doi.org/10.1111/1462-2920.15749.
19. Cesa-Luna, C., Baez, A., Quintero-Hernández, V., De la Cruz-Enríquez, J., Castañeda-Antonio, M. D., & Muñoz-Rojas, J. (2020). The importance of antimicrobial compounds produced by beneficial bacteria on the biocontrol of phytopathogens. *Acta Biológica Colombiana*, *25*(1), 140–154. https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.76867.

20. Chattopadhyay, I., J, R. B., Usman, T. M. M., & Varjani, S. (2022). Exploring the role of microbial biofilm for industrial effluents treatment. *Bioengineered*, *13*(3), 6420–6440. https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2044250.
21. Chauhan, B. S., Gill, G., & Preston, C. (2006). Factors affecting seed germination of Annual Sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in Southern Australia. *Weed Science*, *54*(5), 854–860. http://www.jstor.org/stable/4539474.
22. Corral-Lugo, A., Morales-García, Y. E., Pazos-Rojas, L. A., Ramírez-Valverde, A., Martínez-Contreras, R. D., & Muñoz-Rojas, J. (2012). Cuantificación de bacterias cultivables mediante el método de "Goteo en Placa por Sellado (o estampado) Masivo." *Revista Colombiana de Biotecnología, XIV*(2), 147-156. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. ISSN: 0123-3475.
23. Costa-Gutierrez, S. B., Adler, C., Espinosa-Urgel, M., & de Cristóbal, R. E. (2022). *Pseudomonas putida* and its close relatives: mixing and mastering the perfect tune for plants. *Applied microbiology and biotechnology*, *106*(9-10), 3351–3367. https://doi.org/10.1007/s00253-022-11881-7.
24. Costa-Gutierrez, S. B., Lami, M. J., Santo, M. C. C., Zenoff, A. M., Vincent, P. A., Molina-Henares, M. A., Espinosa-Urgel, M., & de Cristóbal, R. E. (2020). Plant growth promotion by *Pseudomonas putida* KT2440 under saline stress: role of eptA. *Applied microbiology and biotechnology*, *104*(10), 4577–4592. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10516-z.
25. Cruz-Hernández, M. A., Mendoza-Herrera, A., Bocanegra-García, V., & Rivera, G. (2022). *Azospirillum* spp. from plant growth-promoting bacteria to their use in bioremediation. *Microorganisms*, *10*(5), 1057. https://doi.org/10.3390/microorganisms10051057.
26. Czieborowski, M., Hübenthal, A., Poehlein, A., Vogt, I., & Philipp, B. (2020). Genetic and physiological analysis of biofilm formation on different plastic surfaces by *Sphingomonas* sp. Strain S2M10 reveals an essential function of sphingan biosynthesis. *Microbiology (Reading, England)*, *166*(10), 918–935. https://doi.org/10.1099/mic.0.000961.
27. da Silva Oliveira, C. E., Jalal, A., Vitória, L. S., Giolo, V. M., Oliveira, T. J. S. S., Aguilar, J. V., de Camargos, L. S., Brambilla, M. R., Fernandes, G. C., Vargas, P. F., Zoz, T., & Minhoto Teixeira Filho, M. C. (2023). Inoculation with *Azospirillum brasilense* strains AbV5 and AbV6 increases nutrition,

chlorophyll, and leaf yield of hydroponic lettuce. *Plants*, *12*(17), 3107. http://dx.doi.org/10.3390/plants12173107.

28. Dahlstrom, K. M., & Newman, D. K. (2022). Soil bacteria protect fungi from phenazines by acting as toxin sponges. *Current biology: CB*, *32*(2), 275–288.e5. https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.11.002.
29. Del Rocío Bustillos-Cristales, M., Corona-Gutierrez, I., Castañeda-Lucio, M., Águila-Zempoaltécatl, C., Seynos-García, E., Hernández-Lucas, I., Muñoz-Rojas, J., Medina-Aparicio, L., & Fuentes-Ramírez, L. E. (2017). Culturable facultative methylotrophic bacteria from the cactus *Neobuxbaumia macrocephala* possess the locus xoxF and consume methanol in the presence of Ce^{3+} and Ca^{2}. *Microbes and environments*, *32*(3), 244–251. https://doi.org/10.1264/jsme2.ME17070.
30. Dias, G. M., de Sousa Pires, A., Grilo, V. S., Castro, M. R., de Figueiredo Vilela, L., & Neves, B. C. (2019). Comparative genomics of *Paraburkholderia kururiensis* and its potential in bioremediation, biofertilization, and biocontrol of plant pathogens. *MicrobiologyOpen*, *8*(8), e00801. https://doi.org/10.1002/mbo3.801.
31. Dobritsa, A. P., & Samadpour, M. (2019). Reclassification of *Burkholderia insecticola* as *Caballeronia insecticola* comb. Nov. and reliability of conserved signature indels as molecular synapomorphies. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, *69*(7), 2057–2063. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003431.
32. Dos-Santos, C. M., Ribeiro, N. V. S., Schwab, S., Baldani, J. I., & Vidal, M. S. (2021). The effect of inoculation of a diazotrophic bacterial consortium on the indigenous bacterial community structure of sugarcane apoplast fluid. *Current microbiology*, *78*(8), 3079–3091. https://doi.org/10.1007/s00284-021-02571-0.
33. Eskin, N., Vessey, K., & Tian, L. (2014). Research progress and perspectives of nitrogen fixing bacterium, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, in monocot plants. *International Journal of Agronomy*, 2014, 208383. https://doi.org/10.1155/2014/208383.
34. Espinosa-Urgel, M., Salido, A., & Ramos, J. L. (2000). Genetic analysis of functions involved in adhesion of *Pseudomonas putida* to seeds. *Journal of bacteriology*, *182*(9), 2363–2369. https://doi.org/10.1128/JB.182.9.2363-2369.2000.

35. Feng, G. D., Yang, S. Z., Xiong, X., Li, H. P., & Zhu, H. H. (2016). *Sphingomonas symbioti* sp. Nov., isolated from an abandoned lead-zinc mine. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, *66*(5), 2046–2051. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000989.

36. Fibach-Paldi, S., Burdman, S., & Okon, Y. (2012). Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. *FEMS microbiology letters*, *326*(2), 99–108. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02407.x

37. Filgueiras, L., Silva, R., Almeida, I. *et al*. *Gluconacetobacter diazotrophicus* mitigates drought stress in *Oryza sativa* L.. *Plant Soil* 451, 57–73 (2020). https://doi.org/10.1007/s11104-019-04163-1.

38. Fisher, B. D., Champe, P. C., & Harvey, R. A. (2007). Microbiology. TX: Lippincott Williams & Wilkins.

39. Fontanazza, S., Restuccia, A., Mauromicale, G., Scavo, A., & Abbate, C. (2021). *Pseudomonas putida* isolation and quantification by Real-Time PCR in agricultural soil biodegradable mulching. *Agriculture*, *11*(8), 782. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11080782.

40. Frasson, D., Opoku, M., Picozzi, T., Torossi, T., Balada, S., Smits, T. H. M., & Hilber, U. (2017). *Pseudomonas wadenswilerensis* sp. Nov. and *Pseudomonas reidholzensis* sp. Nov., two novel species within the *Pseudomonas putida* group isolated from forest soil. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, *67*(8), 2853–2861. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002035.

41. Frezarin, E. T., Santos, C. H. B., Sales, L. R., dos Santos, R. M., de Carvalho, L. A. L., & Rigobelo, E. C. (2023). Promotion of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth by plant growth-promoting microorganisms. *Microbiology Research*, *14*(1), 316–332. http://dx.doi.org/10.3390/microbiolres14010025.

42. Fukami, J., Ollero, F. J., Megías, M., & Hungria, M. (2017). Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. *AMB Express*, *7*(1), 153. https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7

43. Gómez-Godínez, L. J., Martínez-Romero, E., Banuelos, J., & Arteaga-Garibay, R. I. (2021). Tools and challenges to exploit microbial communities in agriculture. *Current research in microbial sciences, 2*, 100062. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100062.

44. Górski, T., Górska, K., & Stasiak, H. (2013). Inhibition of seed germination by far red radiation transmitted through leaf canopies. *Polish Journal of Agronomy, 13*, 10-38.

45. Haj Sghaier, A., Tarnawa, Á., Khaeim, H., Kovács, G. P., Gyuricza, C., & Kende, Z. (2022). The effects of temperature and water on the seed germination and seedling development of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *plants (Basel, Switzerland), 11*(21), 2819. https://doi.org/10.3390/plants11212819.

46. Harvey, R. A., Champe, P. C., Fisher, B. D. (2007). Microbiology. Reino Unido: Lippincott Williams & Wilkins.

47. Hassan, M. O., Gomaa, N. H., Fahmy, G. M., González, L., Hammouda, O., & Atteya, A. M. (2014). Interactions between *Sonchus oleraceus* L. and some weeds in agroecosystems in Egypt. *Annals of Agricultural Sciences, 59*(2), 221-228. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2014.11.009.

48. Herpell, J. B., Vanwijnsberghe, S., Peeters, C., Schindler, F., Fragner, L., Bejtović, M., Weckwerth, W., & Vandamme, P. (2021). *Paraburkholderia dioscoreae* sp. nov., a novel plant associated growth promotor. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, *71*(9), 004969. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004969

49. Hodson, M. J., Bryant, J. A. (2012). Functional Biology of Plants. Reino Unido: Wiley.

50. Hu H. Y., Li H., Hao M. M., Ren Y. N., Zhang M. K., Liu R. Y., *et al*.. (2021). Nitrogen fixation and crop productivity enhancements co-driven by intercrop root exudates and key rhizosphere bacteria. *J. Appl. Ecol.* 58, 2243–2255. Doi: 10.1111/1365-2664.13964.

51. Hu, H., Wang, L., Wang, W., Wu, G., Tao, F., Xu, P., Deng, Z., & Tang, H. (2019). Regulatory mechanism of nicotine degradation in *Pseudomonas putida*. *mBio*, *10*(3), e00602-19. https://doi.org/10.1128/mBio.00602-19

52. Hu, X., Wang, J., Lv, Y., Liu, X., Zhong, J., Cui, X., Zhang, M., Ma, D., Yan, X., & Zhu, X. (2021). Effects of heavy metals/metalloids and soil properties on microbial communities in farmland in the

vicinity of a metals smelter. *Frontiers in microbiology*, *12*, 707786. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.707786.

53. Huang, H., Lin, J., Wang, W., & Li, S. (2022). Biopolymers produced by *Sphingomonas* strains and their potential applications in petroleum production. *Polymers*, *14*(9), 1920. https://doi.org/10.3390/polym14091920.
54. Huo, Yue, Chokkalingam, Mohan, Jong-Pyo Kang, Ahn, Jong-Chan, & Yang, Deok-Chun. (2020). *Paraburkholderia panacisoli* sp. Nov., a potentially antagonistic bacterium against the root rot fungal pathogen *Cylindrocarpon destructans*, isolated from ginseng cultivation soil. *Archives of Microbiology*. 10.1007/s00203-020-01840-z.
55. Islam, T., Fatema, Hoque, M. N., Gupta, D. R., Mahmud, N. U., Sakif, T. I., & Sharpe, A. G. (2023). Improvement of growth, yield and associated bacteriome of rice by the application of probiotic *Paraburkholderia* and *Delftia*. *Frontiers in microbiology*, *14*, 1212505. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1212505.
56. Jesús-Ramos, A., Baez, A., Molina-Romero, D., Muñoz-Rojas, J., & Morales-García, Y. E. (2020). Potenciación del crecimiento de cacahuate criollo Huaquechula por bacterias rizosféricas aplicadas de forma individual o en consorcio. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 5(19), 1-21.
57. Jørgensen, M. S., Labouriau, R., & Olesen, B. (2019). Seed size and burial depth influence *Zostera marina* L. (eelgrass) seed survival, seedling emergence and initial seedling biomass development. *PloS one*, *14*(4), e0215157. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215157.
58. Kang, S. M., Radhakrishnan, R., Khan, A. L., Kim, M. J., Park, J. M., Kim, B. R., Shin, D. H., & Lee, I. J. (2014). Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putida* H-2-3 modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. *Plant physiology and biochemistry: PPB*, *84*, 115–124. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.09.001.
59. Kasim, W. A., Osman, M. E. H., Omar, M. N., *et al*. (2021). Enhancement of drought tolerance in Triticum aestivum L. seedlings using *Azospirillum brasilense* NO40 and *Stenotrophomonas*

maltophilia B11. *Bulletin of the National Research Centre*, 45, 95. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00546-6.

60. Keil, D. J., & Walters, D. R. (1996). Vascular Plant Taxonomy. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, Iowa, Estados Unidos.
61. Khan, A. L., Numan, M., Bilal, S., Asaf, S., Crafword, K., Imran, M., Al-Harrasi, A., Al-Sabahi, J. N., Rehman, N. U., A-Rawahi, A., & Lee, I. J. (2022). Mangrove's rhizospheric engineering with bacterial inoculation improve degradation of diesel contamination. *Journal of hazardous materials*, *423*(Pt A), 127046. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127046.
62. Khan, M. M. A., Haque, E., Paul, N. C., Khaleque, M. A., Al-Garni, S. M. S., Rahman, M., & Islam, M. T. (2017). Enhancement of growth and grain yield of rice in nutrient deficient soils by rice probiotic bacteria. *Rice Science*, *24*(5), 264-273. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.002.
63. Khan, R., Khan, M.R., Sahreen, S., & Bokhari, J. (2010). Antimicrobial and phytotoxic screening of various fractions of *Sonchus asper*. *African Journal of Biotechnology*, *9*, 3883-3887.
64. Khan, A. (2002). Plant Anatomy and Physiology. India: Kalpaz Publications.
65. Kim, D., Rahman, A., Sitepu, I. R., & Hashidoko, Y. (2013). Accelerated degradation of exogenous indole by *Burkholderia unamae* strain CK43B exposed to pyrogallol-type polyphenols. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, *77*(8), 1722–1727. https://doi.org/10.1271/bbb.130282.
66. Kluyver, T. A., Charles, M., Jones, G., Rees, M., & Osborne, C. P. (2013). Did greater burial depth increase the seed size of domesticated legumes? *Journal of experimental botany*, *64*(13), 4101–4108. https://doi.org/10.1093/jxb/ert304.
67. Knights, H. E., Jorrin, B., Haskett, T. L., & Poole, P. S. (2021). Deciphering bacterial mechanisms of root colonization. *Environmental microbiology reports*, *13*(4), 428–444. https://doi.org/10.1111/1758-2229.12934.
68. Koul, V., Srivastava, D., Singh, P. P., *et al*. (2020). Genome-wide identification of *Azospirillum brasilense* Sp245 small RNAs responsive to nitrogen starvation and likely involvement in plant-microbe interactions. *BMC Genomics*, 21, 821. https://doi.org/10.1186/s12864-020-07212-7.

69. Lade, S. B., Román, C., Cueto-Ginzo, A. I., Serrano, L., Sin, E., Achón, M. A., & Medina, V. (2018). Host-specific proteomic and growth analysis of maize and tomato seedlings inoculated with *Azospirillum brasilense* Sp7. *Plant physiology and biochemistry: PPB*, *129*, 381–393. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.024.

70. Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A., & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Advances in Environmental Biology*, *10*(9),209. https://link.gale.com/apps/doc/A472372583/AONE?u=anon~4c59153&sid=googleScholar&xid=0eaf1a1f.

71. Leys, N. M., Ryngaert, A., Bastiaens, L., Verstraete, W., Top, E. M., & Springael, D. (2004). Occurrence and phylogenetic diversity of *Sphingomonas* strains in soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Applied and environmental microbiology*, *70*(4), 1944–1955. https://doi.org/10.1128/AEM.70.4.1944-1955.2004.

72. Li, H. B., Singh, R. K., Singh, P., Song, Q. Q., Xing, Y. X., Yang, L. T., & Li, Y. R. (2017). Genetic diversity of nitrogen-fixing and plant growth promoting *Pseudomonas* species isolated from sugarcane rhizosphere. *Frontiers in microbiology*, *8*, 1268. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01268.

73. Li, X.-M., & Yang, P.-L. (2018). Research progress of *Sonchus* species. *International Journal of Food Properties*, *21*(1), 147–157. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1415931.

74. Liu, H., Xiao, Y., Nie, H., Huang, Q., & Chen, W. (2017). Influence of (p)ppGpp on biofilm regulation in *Pseudomonas putida* KT2440. *Microbiological research*, *204*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.07.003.

75. Liu, H., Yan, H., Xiao, Y., Nie, H., Huang, Q., & Chen, W. (2019). The exopolysaccharide gene cluster pea is transcriptionally controlled by RpoS and repressed by AmrZ in *Pseudomonas putida* KT2440. *Microbiological research*, *218*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.09.004.

76. Lombardino, J., Bijlani, S., Singh, N. K., Wood, J. M., Barker, R., Gilroy, S., Wang, C. C. C., Venkateswaran, K. (2022). Genomic characterization of potential plant growth-promoting features

of *Sphingomonas* strains isolated from the International Space Station. *Microbiology spectrum*, *10*(1), e0199421. https://doi.org/10.1128/spectrum.01994-21.

77. Luo, Y., Wang, F., Huang, Y., Zhou, M., Gao, J., Yan, T., Sheng, H., & An, L. (2019). *Sphingomonas* sp. Cra20 increases plant growth rate and alters rhizosphere microbial community structure of *Arabidopsis thaliana* under drought stress. *Frontiers in microbiology*, *10*, 1221. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01221.
78. Madigan, M; Bender, K; Buckley, D; Sattley, W; Stahl, D (2018). Brock Biology of Microorganisms [Jan 01, 2018] Michael T. Madigan, Kelly S. Bender, Daniel H. Buckley, W. Matthew Sattley, David A. Stahl (15th ed.). Pearson.
79. Majeed, A., Abbasi, M. K., Hameed, S., Imran, A., & Rahim, N. (2015). Isolation and characterization of plant growth-promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on plant growth promotion. *Frontiers in microbiology*, *6*, 198. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00198
80. Martin-Didonet, C. C., Chubatsu, L. S., Souza, E. M., Kleina, M., Rego, F. G., Rigo, L. U., Yates, M. G., & Pedrosa, F. O. (2000). Genome structure of the genus *Azospirillum*. *Journal of bacteriology*, *182*(14), 4113–4116. https://doi.org/10.1128/JB.182.14.4113-4116.2000.
81. Matilla, M. A., Ramos, J. L., Bakker, P. A., Doornbos, R., Badri, D. V., Vivanco, J. M., & Ramos-González, M. I. (2010). *Pseudomonas putida* KT2440 causes induced systemic resistance and changes in *Arabidopsis* root exudation. *Environmental microbiology reports*, *2*(3), 381–388. https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2009.00091.x.
82. Mauseth, J. D. (2014). Botany: An Introduction to Plant Biology. Estados Unidos: Jones & Bartlett Learning.
83. McArdle, R., & Hamill, R. (2011). Utilization of hydrocolloids in processed meat systems. En J.P. Kerry y J.F. Kerry (Eds.), *Processed Meats* (pp. 243-269). Woodhead Publishing. ISBN 978-1845694661. https://doi.org/10.1533/9780857092946.2.243.
84. McNear Jr., D. H. (2013) The rhizosphere – roots, soil and everything in between. *Nature Education Knowledge 4*(3),1

85. Mei, X., Wang, Y., Li, Z., Larousse, M., Pere, A., da Rocha, M., Zhan, F., He, Y., Pu, L., Panabières, F., & Zu, Y. (2022). Root-associated microbiota drive phytoremediation strategies to lead of *Sonchus Asper* (L.) Hill as revealed by intercropping-induced modifications of the rhizosphere microbiome. *Environmental science and pollution research international*, *29*(16), 23026–23040. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17353-1.

86. Méndez-Gómez, M., Barrera-Ortiz, S., Castro-Mercado, E., López-Bucio, J., & García-Pineda, E. (2021). The nature of the interaction *Azospirillum-Arabidopsis* determine the molecular and morphological changes in root and plant growth promotion. *Protoplasma*, *258*(1), 179–189. https://doi.org/10.1007/s00709-020-01552-7.

87. Mering, C. V., & Danaila, M. C. (n.d.). *Pseudomonas putida: MAPv3;90_23;96_61;97_89;98_203;99_863*. Microbe Atlas Project (MAP).

88. Mesny, F., Hacquard, S., & Thomma, B. P. H. J. (2023). Co-evolution within the plant holobiont drives host performance. *EMBO Reports*, *24*, e57455. https://doi.org/10.15252/embr.202357455.

89. Miotto Vilanova, L. C., Rondeau, M., Robineau, M., Guise, J. F., Lavire, C., Vial, L., Fontaine, F., Clément, C., Jacquard, C., Esmaeel, Q., Aït Barka, E., & Sanchez, L. (2022). *Paraburkholderia phytofirmans* PsJN delays *Botrytis cinerea* development on grapevine inflorescences. *Frontiers in microbiology*, *13*, 1030982. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1030982.

90. Mohlenbrock, R. H. (2017). Flowering Plants: Asteraceae, Part 3. Estados Unidos: Southern Illinois University Press.

91. Molina-Romero, D., Baez, A., Quintero-Hernández, V., Castañeda-Lucio, M., Fuentes-Ramírez, L. E., Bustillos-Cristales, M. R., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y. E., Munive, A., & Muñoz-Rojas, J. (2017). Compatible bacterial mixture, tolerant to desiccation, improves maize plant growth. *PLOS ONE*, *12*(11), e0187913. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187913.

92. Molina-Romero, D., Bustillo-Cristales, M del R., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y. E., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., Muñoz-Rojas, J. (2015) Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*, *17*(2), 24 – 34.

93. Morales-García, Y. E., Baez, A., Quintero-Hernández, V., Molina-Romero, D., Rivera-Urbalejo, A. P., Pazos-Rojas, L. A., & Muñoz-Rojas, J. (2019). Bacterial mixtures, the future generation of inoculants for sustainable crop production. In D. Maheshwari & S. Dheeman (Eds.), Field Crops: Sustainable Management by PGPR (pp. 23). *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8_2

94. Morales-García, Y. E., Juárez-Hernández, D., Aragón-Hernández, C., Mascarua-Esparza, M. A., Bustillos-Cristales, M. R., Fuentes-Ramírez, L. E., Martinez-Contreras, R. D., & Munoz-Rojas, J. (2011). Growth response of maize plantlets inoculated with *Enterobacter* spp., as a model for alternative agriculture. *Revista Argentina de Microbiología*, *43*(4), 287-293. https://doi.org/10.1590/S0325-75412011000400009. PMID: 22274827.

95. Moreno-Valencia, F. D., Aguirre Schilder, K., Muñoz-Rojas, J., Morales-García, Y. E. (2023). La urgencia de usar rizobacterias promotoras del crecimiento de plantas para detener el cambio climático. *AyTBUAP*, 8(30), i-xi. DOI: 10.5281/zenodo.8062473.

96. Mushtaq, M. N., Akhtar, M. S., Alamgeer, Ahmad, T., Khan, H. U., Maheen, S., Ahsan, H., Naz, H., Asif, H., Younis, W., & Tabassum, N. (2016). Evaluation of antihypertensive activity of Sonchus asper L. in rats. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, *73*(2), 425–431.

97. Muthukumarasamy, R., Govindarajan, M., Vadivelu, M., & Revathi, G. (2006). N-fertilizer saving by the inoculation of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum sp*. in micropropagated sugarcane plants. *Microbiological Research*, *161*(3), 238-245. https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.08.007.

98. Nesom, G. L. (2000). Generic conspectus of the Tribe Astereae (Asteraceae) in North America and Central America, the Antilles, and Hawaii. Estados Unidos: Botanical Research Institute of Texas.

99. Oliveira, A. L. M., Stoffels, M., Schmid, M., Reis, V. M., Baldani, J. I., & Hartmann, A. (2009). Colonization of sugarcane plantlets by mixed inoculations with diazotrophic bacteria. *European Journal of Soil Biology*, *45*(1), 106–113. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.09.004.

100. Onyeaka, H. N., & Nwabor, O. F. (2022). Natural polymers and hydrocolloids application in food. En H. N. Onyeaka y O. F. Nwabor (Eds.), *Food Preservation and Safety of Natural Products* (pp. 191-206). Academic Press. ISBN 978-0323857000. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85700-0.00003-4.

101. Ortiz-Castro, R., Campos-García, J., López-Bucio, J. *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens* Influence *Arabidopsis* root system architecture through an auxin response mediated by bioactive cyclodipeptides. *J Plant Growth Regul 39*, 254–265 (2020). https://doi.org/10.1007/s00344-019-09979-w.

102. Owensby, C. E. (1980). Kansas Prairie Wildflowers (Primera Edición). Iowa Pr.

103. Paik, I., & Huq, E. (2019). Plant photoreceptors: Multi-functional sensory proteins and their signaling networks. *Seminars in cell & developmental biology*, *92*, 114–121. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.03.007.

104. Patten, C. L., & Glick, B. R. (2002). Role of Pseudomonas putida indoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and environmental microbiology, *68*(8), 3795–3801. https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002.

105. Peerzada, A. M., O'Donnell, C., & Adkins, S. (2019). Biology, impact, and management of common sowthistle (*Sonchus oleraceus* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, *41*(8), 1–17. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2920-z.

106. Peng, H., de-Bashan, L. E., & Higgins, B. T. (2021). *Azospirillum brasilense* reduces oxidative stress in the green microalgae *Chlorella sorokiniana* under different stressors. *Journal of biotechnology*, *325*, 179–185. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.10.029.

107. Pereira, S. I. A., Abreu, D., Moreira, H., Vega, A., & Castro, P. M. L. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Heliyon*, *6*(10), e05106. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05106.

108. Planchamp, C., Glauser, G., & Mauch-Mani, B. (2015). Root inoculation with *Pseudomonas putida* KT2440 induces transcriptional and metabolic changes and systemic resistance in maize plants. *Frontiers in plant science*, *5*, 719. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00719.

109. Proctor, J. T., & Sullivan, J. A. (2013). Effect of seeding depth on seedling growth and dry matter partitioning in American ginseng. *Journal of ginseng research*, *37*(2), 254–260. https://doi.org/10.5142/jgr.2013.37.254.

110. Puri, A. (2018). A review on ethnomedicinal, pharmacological and phytochemical aspects of *Sonchus oleraceus* Linn. (Asteraceae). *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. *8* (3), 01-09. ISSN: 2230-7605.

111. Purtschert-Montenegro, G., Cárcamo-Oyarce, G., Pinto-Carbó, M. *et al. Pseudomonas putida* mediates bacterial killing, biofilm invasion and biocontrol with a type IVB secretion system. *Nat Microbiol* **7**, 1547–1557 (2022). https://doi.org/10.1038/s41564-022-01209-6.

112. Raven, P. H., Eichhorn, S. E., Evert, R. F., Eichhorn, U. S. E., Evert, U. R. F. (2005). *Biology of plants*. Italia: W. H. Freeman.

113. Regenhardt, D., Heuer, H., Heim, S., Fernandez, D. U., Strömpl, C., Moore, E. R. B., & Timmis, K. N. (2002). Pedigree and taxonomic credentials of *Pseudomonas putida* strain KT2440. *Environmental Microbiology, 4*(12), 912–915. https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2002.00368.x.

114. Rivera-Urbalejo, A.P., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y.E., Quintero-Hernández, V., Muñoz-Morales, J.M., Carbajal-Armenta, A., *et al*. (2017). Inoculación de plántulas micropropagadas de caña de azúcar con bacterias benéficas para potenciar su producción. *Alianzas y Tendencias BUAP* , *2*(7), 15–26.

115. Rodríguez-Salazar, J., Suárez, R., Caballero-Mellado, J., & Iturriaga, G. (2009). Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. *FEMS microbiology letters*, *296*(1), 52–59. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2009.01614.x.

116. Ruan, B., Wu, P., Liu, J., Jiang, L., Wang, H., Qiao, J., Zhu, N., Dang, Z., Luo, H., & Yi, X. (2020). Adhesion of *Sphingomonas* sp. GY2B onto montmorillonite: A combination study by thermodynamics and the extended DLVO theory. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, *192*, 111085. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111085

117. Rzedowski, G. C. (1997). Compositae. Tribu Lactuceae. En: Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski (eds.). Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 54. Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.

118. Saeed, M. U., Hussain, N., Javaid, M., & Zaman, H. (2023). Microbial remediation for environmental cleanup. En S. Gangola, S. Kumar, S. Joshi, & P. Bhatt (Eds.), *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology* (pp. 247-274). Academic Press. ISBN 978-0323950909. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95090-9.00010-8.

119. Saharan, Baljeet & Nehra, Vibha. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci Med Res*. *21*, 1-30.

120. Santelices-Moya, R. E., González Ortega, M., Acevedo Tapia, M., Cartes Rodríguez, E., & Cabrera-Ariza, A. M. (2022). Effect of temperature on the germination of five coastal provenances of *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, the most representative species of the mediterranean forests of South America. *Plants (Basel, Switzerland)*, *11*(3), 297. https://doi.org/10.3390/plants11030297.

121. Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*, *9*(1), 205. https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0.

122. Sawana, A., Adeolu, M., & Gupta, R. S. (2014). Molecular signatures and phylogenomic analysis of the genus *Burkholderia*: proposal for division of this genus into the emended genus *Burkholderia* containing pathogenic organisms and a new genus *Paraburkholderia* gen. nov. harboring environmental species. *Frontiers in genetics*, *5*, 429. https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00429.

123. Schmidt, M., Pearson, A. N., Incha, M. R., Thompson, M. G., Baidoo, E. E. K., Kakumanu, R., Mukhopadhyay, A., Shih, P. M., Deutschbauer, A. M., Blank, L. M., & Keasling, J. D. (2022). Nitrogen metabolism in *Pseudomonas putida*: functional analysis using random barcode transposon sequencing. *Applied and environmental microbiology*, *88*(7), e0243021. https://doi.org/10.1128/aem.02430-21.

124. Schwister, E. M., Dietz, B. R., Knutson, C. M., Olszewski, N. E., & Barney, B. M. (2022). *Gluconacetobacter diazotrophicus* gene fitness during diazotrophic growth. *Applied and environmental microbiology*, *88*(23), e0124122. https://doi.org/10.1128/aem.01241-22

125. Seo, M., Nambara, E., Choi, G., & Yamaguchi, S. (2009). Interaction of light and hormone signals in germinating seeds. *Plant molecular biology, 69*(4), 463–472. https://doi.org/10.1007/s11103-008-9429-y.

126. Shah, S., & Kumar, A. (2021). Production and characterization of polyhydroxyalkanoates from industrial waste using soil bacterial isolates. *Brazilian journal of microbiology: [publication of the Brazilian Society for Microbiology], 52*(2), 715–726. https://doi.org/10.1007/s42770-021-00452-z

127. Sharma, B., & Shukla, P. (2021). A comparative analysis of heavy metal bioaccumulation and functional gene annotation towards multiple metal resistant potential by *Ochrobactrum intermedium* BPS-20 and *Ochrobactrum ciceri* BPS-26. *Bioresource Technology, 320*(Part B), 124330. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124330.

128. Sherpa, M. T., Bag, N., Das, S., Haokip, P., & Sharma, L. (2021). Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria isolated from organically grown high yielding pole type native pea (*Pisum sativum* L.) variety *Dentami* of Sikkim, India. *Current research in microbial sciences, 2*, 100068. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100068.

129. Sheu, S. Y., Chou, J. H., Bontemps, C., Elliott, G. N., Gross, E., James, E. K., Sprent, J. I., Young, J. P. W., & Chen, W. M. (2012). *Burkholderia* Symbiotic asp. Nov., isolated from root nodules of *Mimosa* spp. Native to north-east Brazil. *International journal of systematic and evolutionary microbiology, 62*(Pt 9), 2272–2278. https://doi.org/10.1099/ijs.0.037408-0

130. Silva, P. S. T., Cassiolato, A. M. R., Galindo, F. S., Jalal, A., Nogueira, T. A. R., Oliveira, C. E. d. S., & Filho, M. C. M. T. (2022). *Azospirillum brasilense* and zinc rates effect on fungal root colonization and yield of wheat-maize in tropical savannah conditions. *Plants, 11*(22), 3154. https://doi.org/10.3390/plants11223154.

131. Steenhoudt, O., & Vanderleyden, J. (2000). Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS microbiology reviews, 24*(4), 487–506. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2000.tb00552.x

132. Steinberg, J. P., & Burd, E. M. (2015). Other Gram-Negative and Gram-Variable Bacilli. En J. E. Bennett, R. Dolin, & M. J. Blaser (Eds.), *Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases* (Octava edición, pp. 2667-2683.e4). W.B. Saunders.

133. Sun, N., Huang, L., Zhao, H., Zhang, N., Lin, X., & Sun, C. (2022). Beneficial bacterium *Azospirillum brasilense* induces morphological, physiological and molecular adaptation to phosphorus deficiency in *Arabidopsis*. *Plant & cell physiology*, *63*(9), 1273–1284. https://doi.org/10.1093/pcp/pcac101.

134. Tahir, N., Abdullah, M. K., Asma, I., Sohail, H., Muhammad, S., Kashif, H. M., Afshan, M., Javed, I. M., Mansoor, Q. M., & van Elsas, J. D. (2022). Inoculation with *Azospirillum* spp. acts as the liming source for improving growth and nitrogen use efficiency of potato. *Frontiers in Plant Science*, 13. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.929114.

135. Takeo, M., Akizuki, J., Kawasaki, A., & Negoro, S. (2020). Degradation potential of the nonylphenol monooxygenase of *Sphingomonas* sp. NP5 for bisphenols and their structural analogs. *Microorganisms*, *8*(2), 284. http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8020284.

136. Tapia-Olivares, V. R., Vazquez-Bello, E. A., Aguilar-Garnica, E., & Escalante, F. M. E. (2019). Valorization of lignin as an immobilizing agent for bioinoculant production using *Azospirillum brasilense* as a model bacteria. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *24*(24), 4613. https://doi.org/10.3390/molecules24244613.

137. Tito, E., Ahmad, A., Gongolli, J., Issack, W., & Johnson, A. (2022). *Sphingomonas paucimobilis* bacteremia in a patient with retropharyngeal abscess. *Cureus*, *14*(5), e25407. https://doi.org/10.7759/cureus.25407.

138. Van, D. T., Tân, Đ. B., Huynh, T. K. T., Huynh, K. T., & Long, V. V. (2021). Effect of *Gluconacetobacter diazotrophicus* inoculation and reduced nitrogen fertilizer on yield and growth parameters of rice varieties. *Journal of Seed Science*, *43*(2). https://doi.org/10.1590/2317-1545v43253229.

139. Vázquez Martínez, L. E., & Muñoz-Rojas, J. (2023). *Pseudomonas putida* KT2440, como una potencial bacteria promotora del crecimiento en cultivos agrícolas. *Alianzas y tendencias BUAP*, *8*(31), 80–94. https://doi.org/10.5281/zenodo.8375241.

140. Vázquez Martínez, L. E., & Muñoz-Rojas, J. (2023). *Pseudomonas putida* KT2440, como una potencial bacteria promotora del crecimiento en cultivos agrícolas. *Alianzas y Tendencias BUAP*, *8*(31), 80-94. https://doi.org/10.5281/zenodo.8375241.

141. Vilela, F. C., Bitencourt, A. D., Cabral, L. D. M., Franqui, L. S., Soncini, R., & Giusti-Paiva, A. (2010). Anti-inflammatory and antipyretic effects of Sonchus oleraceus in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, *127*(3), 737–741. https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.11.030.

142. Wang, F., Wei, Y., Yan, T., Wang, C., Chao, Y., Jia, M., An, L., & Sheng, H. (2022). *Sphingomonas* sp. Hbc-6 alters physiological metabolism and recruits beneficial rhizosphere bacteria to improve plant growth and drought tolerance. *Frontiers in plant science*, *13*, 1002772. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1002772.

143. Wang, F., Wei, Y., Yan, T., Wang, C., Chao, Y., Jia, M., An, L., & Sheng, H. (2022). *Sphingomonas* sp. Hbc-6 alters physiological metabolism and recruits beneficial rhizosphere bacteria to improve plant growth and drought tolerance. *Frontiers in plant science*, *13*, 1002772. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1002772.

144. Wang, K., Wu, Y., Ye, M., Yang, Y., Asiegbu, F. O., Overmyer, K., Liu, S., & Cui, F. (2021). Comparative genomics reveals potential mechanisms of plant beneficial effects of a novel Bamboo-Endophytic bacterial isolate *Paraburkholderia sacchari* Suichang626. *Frontiers in microbiology*, *12*, 686998. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.686998.

145. Wang, R., Wang, H. L., Tang, R. P., Sun, M. Y., Chen, T. M., Duan, X. C., Lu, X. F., Liu, D., Shi, X. C., Laborda, P., & Wang, S. Y. (2020). *Pseudomonas putida* represses JA- and SA-mediated defense pathways in rice and promotes an alternative defense mechanism possibly through ABA signaling. *Plants (Basel, Switzerland)*, *9*(12), 1641. https://doi.org/10.3390/plants9121641.

146. Wang, X., & Pecoraro, L. (2021). Diversity and co-occurrence patterns of fungal and bacterial communities from alkaline sediments and water of Julong high-altitude hot springs at Tianchi volcano, northeast China. *Biology*, *10*(9), 894. https://doi.org/10.3390/biology10090894.

147. Wang, Y. H., & Irving, H. R. (2011). Developing a model of plant hormone interactions. *Plant signaling & behavior*, *6*(4), 494–500. https://doi.org/10.4161/psb.6.4.14558.

148. Warpeha, K. M., & Montgomery, B. L. (2016). Light and hormone interactions in the seed-to-seedling transition. *Environmental and Experimental Botany*, *121*, 56-65. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.004.

149. Weimer, A., Kohlstedt, M., Volke, D. C., Nikel, P. I., & Wittmann, C. (2020). Industrial biotechnology *of Pseudomonas putida*: advances and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*, *104*(18), 7745–7766. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10811-9.

150. Wheatley, R. M., & Poole, P. S. (2018). Mechanisms of bacterial attachment to roots. *FEMS Microbiology Reviews*, *42*(4), 448–461. https://doi.org/10.1093/femsre/fuy014.

151. Williams, P. A., & Murray, K. (1974). Metabolism of benzoate and the methylbenzoates by *Pseudomonas putida* (arvilla) mt-2: evidence for the existence of a TOL plasmid. *Journal of bacteriology*, *120*(1), 416–423. https://doi.org/10.1128/jb.120.1.416-423.1974.

152. Wisniewski-Dyé, F., Lozano, L., Acosta-Cruz, E., Borland, S., Drogue, B., Prigent-Combaret, C., Rouy, Z., Barbe, V., Herrera, A. M., González, V., & Mavingui, P. (2012). Genome sequence of *Azospirillum brasilense* CBG497 and comparative analyses of *Azospirillum* core and accessory genomes provide insight into niche adaptation. *Genes*, *3*(4), 576–602. https://doi.org/10.3390/genes3040576.

153. Wu, H., Shen, J., Jiang, X., Liu, X., Sun, X., Li, J., Han, W., Mu, Y., & Wang, L. (2018). Bioaugmentation potential of a newly isolated strain *Sphingomonas* sp. NJUST37 for the treatment of wastewater containing highly toxic and recalcitrant tricyclazole. *Bioresource Technology*, 264, 98-105. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.071.

154. Xia, D. Z., Yu, X. F., Zhu, Z. Y., & Zou, Z. D. (2011). Antioxidant and antibacterial activity of six edible wild plants (*Sonchus* spp.) in China. *Natural product research*, *25*(20), 1893–1901. https://doi.org/10.1080/14786419.2010.534093.

155. Xu, J., Kloepper, J. W., Huang, P., McInroy, J. A., & Hu, C. H. (2018). Isolation and characterization of N2-fixing bacteria from giant reed and switchgrass for plant growth promotion and nutrient uptake. *Journal of Basic Microbiology*, 58, 459–471. https://doi.org/10.1002/jobm.201700535.

156. Xu, X., Liu, W., Tian, S., Wang, W., Qi, Q., Jiang, P., Gao, X., Li, F., Li, H., & Yu, H. (2018). Petroleum hydrocarbon-degrading bacteria for the remediation of oil pollution under aerobic conditions: a perspective analysis. *Frontiers in microbiology*, *9*, 2885. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885.

157. Xuan, T. D., Anh, L. H., Khang, D. T., Tuyen, P. T., Minh, T. N., Khanh, T. D., & Trung, K. H. (2016). Weed Allelochemicals and Possibility for Pest Management. *International Letters of Natural Sciences*, *56*, 25–39. https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ilns.56.25

158. Yaghoubi Khanghahi, M., Strafella, S., Allegretta, I., Crecchio, C., Yaghoubi Khanghahi, M., Strafella, S., Allegretta, I., Crecchio, C. (2021). Isolation of bacteria with potential plant-promoting traits and optimization of their growth conditions. *Current Microbiology*, *78*(4), 464–478. https://doi.org/10.1007/s00284-020-02303-w.

159. Yang, S., Zhang, X., Cao, Z., Zhao, K., Wang, S., Chen, M., & Hu, X. (2014). Growth-promoting *Sphingomonas paucimobilis* ZJSH1 associated with *Dendrobium officinale* through phytohormone production and nitrogen fixation. *Microbial biotechnology*, *7*(6), 611–620. https://doi.org/10.1111/1751-7915.12148.

160. Yasuda, M., Dastogeer, K. M. G., Sarkodee-Addo, E., Tokiwa, C., Isawa, T., Shinozaki, S., & Okazaki, S. (2022). Impact of *Azospirillum* sp. B510 on the rhizosphere microbiome of rice under field conditions. *Agronomy*, *12*(6), 1367. MDPI AG. Retrieved from http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12061367.

161. Yu, H., Yan, F., Wang, Y., Tong, X., Chen, D., Ye, Q., Piao, R., & Zhao, H. (2022). Antagonistic Effects of *Sphingomonas* and *Pseudomonas aeruginosa* on 4 kinds of pathogenic bacteria of Ginseng. *Asian Agricultural Research*, 14(5), 31-35. https://ageconsearch.umn.edu/record/333600.

162. Zachariah, D., Seth, D., Yasir, R., Galloway, M., Sophia, G., Hunter, P., John, C., Glazko, G., & Mukherjee, A. (2023). *Azospirillum brasilense* improves rice growth under salt stress by regulating the expression of key genes involved in salt stress response, abscisic acid signaling, and nutrient transport, among others. *Frontiers in Agronomy*, 5. https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1216503.

163. Zhao, Q., Yue, S., Bilal, M., Hu, H., Wang, W., & Zhang, X. (2017). Comparative genomic analysis of 26 *Sphingomonas* and *Sphingobium* strains: Dissemination of bioremediation capabilities, biodegradation potential and horizontal gene transfer. *The Science of the total environment, 609*, 1238–1247. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.249.

164. Zhou, M., Liu, Z., Wang, J., Zhao, Y., & Hu, B. (2022). *Sphingomonas* relies on chemotaxis to degrade polycyclic aromatic hydrocarbons and maintain dominance in coking sites. *Microorganisms*, *10*(6), 1109. https://doi.org/10.3390/microorganisms10061109.

165. Zhou, Z., Liu, Y., Zanaroli, G., Wang, Z., Xu, P., & Tang, H. (2019). Enhancing bioremediation potential of *Pseudomonas putida* by developing its acid stress tolerance with glutamate decarboxylase dependent system and global regulator of extreme radiation resistance. *Frontiers in microbiology, 10*, 2033. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02033.

Oficio No. PM/036/2024

Mtro. Alfredo Avendaño Arenaza
Director General de Bibliotecas
Benemérita Universidad Autònoma de Puebla
Presente.

A través de este medio me dirijo a usted para informarle que la tesis con título **"Crecimiento de *Sonchus* sp. bajo condiciones de laboratorio y efecto de la inoculación con bacterias benéficas"**, ha sido avalada bajo los preceptos de integridad académica; por tanto, se autoriza la impresión de la tesis del alumno;

Nombre del alumno: Oscar Horacio Alejandro Mares Durán
Matrícula: 220470515
Facultad: Instituto de Ciencias
Programa educativo: Maestrìa
Posgrado: Maestrìa en Ciencias (Microbiologìa)

Sin más por el momento, agradezco la atención al presente.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z.; a 25 de abril 2024

D.C. Carolina Morán Raya
Directora Instituto de Ciencias

D.C. Jesús Muñoz Rojas
Director de Tesis