

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD XOCHIMILCO
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL
LICENCIATURA EN AGRONOMÍA

Proyecto de Servicio Social

Realización:

Evaluación de colonias de Bacterias Solubilizadoras de fósforo para Biofertilizante en la Mixteca de Oaxaca.

Prestador de Servicio Social:

Jiménez Garrido Raymundo Jr.
Matricula: 2182034315

Asesores internos:


Dra. Mariela Hada Fuentes Ponce

No. económico: 34017

Firma _____


Dr. Iván Pável Moreno Espíndola

No. económico: 32559

Firma _____


Lugar de realización:

Laboratorio de Aguas y Suelos. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Fecha de inicio y terminación:

Del 06 de Junio 2022 al 21 de Diciembre de 2022

Índice

	Pág.
1 Resumen.....	3
2 Introducción.....	3
3 Marco teórico.....	4
3.1 Mixteca Alta de Oaxaca.....	4
3.2 Biofertilizantes	5
3.3 Tipos de biofertilizantes.....	5
3.4 Solubilizadores de fósforo.....	6
3.5 Captadores de fósforo.....	7
3.6 Bacterias solubilizadores de fósforo.....	7
4 Objetivos.....	7
5 Metodología utilizada.....	8
5.1 Zona de trabajo.....	8
5.2 Diseño experimental.....	9
5.3 Determinación de variables	10
5.3.1 Área radicular	10
5.3.2 Área foliar	10
5.3.3 Fósforo Olsen en el suelo.....	10
5.3.4 Fósforo en tejido vegetal.....	10
5.3.5 Cuantificación de colonización de HMA.....	11
6 Actividades realizadas.....	11
7 Objetivos y metas alcanzados.....	12
8 Resultados, discusión y conclusión.....	12
9 Recomendación.....	18
10 Literatura citada.....	19

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la reproducción de bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF), *Burkholderia caledonica* para usar como biofertilizante en cultivos básicos como maíz de cajete en la Mixteca Alta de Oaxaca. El experimento se realizó en condiciones de invernadero, con el cultivo de jitomate, el diseño experimental fue de 18 tratamientos con tres repeticiones cada uno: bacteria *Burkholderia caledonica* con concentraciones UFC 10^8 o UFC 10^6 + suelo de la mixteca + abono verde (trébol), UFC 10^8 o UFC 10^6 + suelo de la mixteca + abono de borrego o ausencia de abono (Tratamientos 1-6); ausencia de UFC + suelo de la mixteca + abono verde, abono de borrego o sin abono (Tratamientos 7-9), UFC 10^8 o UFC 10^6 + HMA + suelo de la mixteca + abono verde, UFC 10^8 o UFC 10^6 + HMA + suelo de la mixteca + abono de borrego o ausencia de abono (Tratamientos 10-15); HMA + suelo de la mixteca + abono verde, abono de borrego o sin abono (Tratamientos 16-18). La aplicación de abono de borrego con y sin micorrizas, y unidades formadoras de colonias favoreció en la disponibilidad de fósforo mejorando el desarrollo de las plantas de jitomate, lo anterior se reflejó en el análisis de las variables de respuesta: P en el suelo, P en tejido vegetal, longitud radicular y Área foliar. En el conteo de colonias de micorrizas no aparecieron diferencias significativas.

Introducción.

El presente trabajo se centra en la reproducción de bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF) que son nativas provenientes de los suelos de la comunidad de Tonaltepec en la Mixteca Alta Oaxaqueña. Con el objetivo de reducir el uso excesivo de fertilizantes que ocasionan daños tanto al medio biológico como físico en el agro sistema.

Los productores de las zonas como la Mixteca Alta Oaxaqueña han hecho uso excesivo de fertilizantes de tipo sintético, provocando la reducción del rendimiento y degradando su sistema de producción. Por lo mismo se han propuesto alternativas como los biofertilizantes que aceleran la adquisición de nutrientes para las plantas.

Actualmente la utilización de biofertilizantes es uno de los recursos que tiene gran demanda por las propiedades que lo conforman. Tenemos que decir, que los biofertilizantes son productos preparados de microorganismos benéficos que provienen del suelo, como bacterias y hongos, viviendo en una simbiosis o asociados con las plantas proporcionando los nutrientes necesarios para su crecimiento, además de mejorar la calidad del suelo y dándole un ambiente microbiológico óptimo (AEFA, 2017).

El uso de bacterias solubilizadoras de fósforo ayudaría en el desarrollo del cultivo de maíz que se siembra en la mixteca alta en Oaxaca que comparte características de las razas cónico y chalqueño. Según con el autor Muños (2003) este se siembra previo al periodo de lluvias de febrero y marzo, tiene la característica que su ciclo vegetativo es tardío de hasta nueve meses, diferentes investigaciones señalan que por hectárea sembrada en combinación con otros granos se puede obtener en promedio tres y cuatro toneladas, una cantidad que sería suficiente para garantizar la seguridad alimentaria de las familias y las comunidades.

El uso excesivo de fertilizantes sintéticos ha provocado un deterioro del ambiente, posiblemente también de la salud humana y lo más importante una dependencia por parte de los productores (Soto *et al.*, 2020), por ello los biofertilizantes a partir de materiales de los suelos de las comunidades podrían ser una opción junto con un manejo sostenible de la parcela, por ello el objetivo de este trabajo fue la reproducción de Bacterias Solubilizadoras de fósforo para usar como biofertilizante en el cultivo de maíz de cajete en la Mixteca Alta de Oaxaca para disminuir el uso de fertilizantes de los diferentes productores.

Marco teórico

Mixteca Alta de Oaxaca

La región de la Mixteca Alta que se localiza en la parte norte del estado de Oaxaca es una de las regiones con más afectaciones en degradación y pérdida de suelo debido a la erosión que se puede apreciar en sus territorios (Guerrero *et al.*, 2010; Juicio oral Oaxaca, 2012). Esta erosión se debe principalmente al cambio del uso

del suelo, sobrepastoreo y a la deforestación para el aprovechamiento de recursos como leña (García, 2018).

El maíz conocido como cajete es considerado patrimonio cultural de las comunidades que se encuentran en esa región, se le conoce por ser el segundo sistema de gran importancia en la mixteca alta de Oaxaca, este se siembra previo al periodo de lluvias en febrero y marzo en surcos hasta encontrar la humedad residual en el sistema conocido como lama bordo tiene mayor rendimiento que el maíz de temporal, esta práctica tradicional es una fuente de alimentos básicos para la población rural de esta región (Bocco *et al.* , 2019).

El fósforo es uno de los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas, agrupado en inorgánico se refiere a su naturaleza y orgánico que se encuentra unido con la materia orgánica (Sánchez, 2015). Las plantas toman el fósforo a partir de la solución del suelo en una forma inorgánica en un estado soluble, pero para que sea aprovechable es necesario que el suelo tenga un pH alrededor de 6.5, de otra forma si el pH es alcalino o ácido la disponibilidad se reducirá (Estrada et al., 2011); un aporte del fósforo inorgánico al suelo y por ende a las plantas, es la transformación de la materia orgánica por los diferentes microorganismos como las bacterias a través de la mineralización (Molina y Rodríguez, 2012). Los cuales convierten de forma insoluble a solubles de este nutriente mediante diferentes procesos como la acidificación en el intercambio y producción de ácidos orgánicos (Restrepo et al., 2015).

Biofertilizantes

Son sustancias que están compuestas con uno o varios microorganismos vivos, los cuales van a mejorar la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos, ya sea en la superficie del suelo o en el interior de la misma planta. La función que tienen los biofertilizantes es ayudar en el proceso de la nutrición de las plantas, para que tengan un buen aprovechamiento, contribuyen a la solubilidad y conductividad de los nutrientes, esto ayuda a la producción agrícola para que sea más sostenible y reduce el uso de fertilizantes químicos (Obid *et al.* 2016).

De acuerdo con los antecedentes de los biofertilizantes en las diferentes investigaciones a partir del trabajo realizado por Núñez (2016), se menciona que los biofertilizantes que se producen por medio de bacterias u hongos, además de facilitar la adquisición de nutrientes por las plantas, va a mejorar el rendimiento principalmente por la disponibilidad del nitrógeno y fósforo. Las bacterias que se utilizan para esto se les conoce como solubilizadoras de fósforo, ya que estos microorganismos toman el fósforo del suelo y lo transforman para que sea disponible para las plantas (Santillán, 2016).

Los biofertilizantes se aplican en el suelo o en las plantas para empezar hacer la colonización de la rizosfera, en el interior de la planta y también son aplicados en las semillas; entre los biofertilizantes se encuentran los de las bacterias *Azotobacter*, *Acetobacter*, *Azospirillum* y *Rhizobium* que se les aplican a diversos cultivos de cereales y hortalizas (Barajas, 2017).

También se pueden clasificar en acción directa que son los que se aplican a la masa viva y que dentro del tejido vegetal los microorganismos se agrupan produciendo una acción benéfica en las plantas y no en su medio circulante (Escoto, 2014). La acción indirecta primero en el suelo ayudando a la solubilización de los minerales como el fósforo, posteriormente será transmitido hacia los cultivos donde los mecanismos de acción en la solubilización de nutrientes como son el fósforo, nitrógeno y potasio (Corrales, 2019).

Tipos de biofertilizantes

Fijadores de nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno se desarrollan en el suelo y estos microorganismos se dividen en dos grupos: los fijadores simbióticos que se encargan de fijar nitrógeno en asociación con plantas y los de tipo asimbióticos o también son conocidos como de vida libre que proporcionan compuestos nitrogenados como amonio (Jiménez, 2007). En este grupo de a simbióticas

tenemos bacterias como *Bradyrhizobium*, *Azotobacter* sp, *Azospirillum* sp, *Pseudomonas* sp, *Enterobacter* sp y *Klebsiella* sp y simbiótica como *Rhizobium* (FAO, 2015).

Solubilizadores de fósforo

Los microorganismos que están involucrados en la transformación de fósforo del suelo son las bacterias, hongos y los conocidos como cromistasprotozoos, ellos impulsan el proceso mediante la mineralización, solubilización e inmovilización, para que estas fuentes orgánicas de fósforo sean utilizadas deben hidrolizarse por enzimas fosfatasas que secretan estos microorganismos (Rodríguez *et al.*, 2018). Los microorganismos del suelo están implicados en la liberación del fósforo desde las fuentes inorgánicas usando lo que es la solubilización y mineralización de las fuentes orgánicas, las bacterias son los microorganismos que mayor solubilizan fosfato de calcio, aluminio y hierro superando a los hongos (Callejas *et al.*, 2018).

Captadores de fósforo

Los hongos micorrícicos arbúsculares (HMA) funcionan como captadores de fosfato, estos se unen a las raíces y estas les proporcionan el alimento necesario para que cumplan su ciclo de vida, se alimentan de azúcares de la raíz , los HMA tienen un efecto directo en la absorción del fósforo ya que este elemento es inmóvil en el suelo, además de facilitar el acceso al fósforo, el crecimiento radical, también ayudan a la tolerancia de cambios de temperatura y a la acidez del suelo ante los elementos como Aluminio y Magnesio (Valenzuela Ortega, 2020).

Bacterias solubilizadoras de fósforo

De los diferentes microorganismos solubilizadores de fósforo que hay, las que desempeñan un papel fundamental en el ciclo biogeoquímico del fósforo son las bacterias capaces de transformar el fósforo insoluble en formas que se encuentren disponibles para las plantas por los diferentes mecanismos (Matyas *et al.* 2020). Se han encontrado muchos aislados bacterianos con el potencial de solubilizar fosfatos que se han probado en diferentes investigaciones principalmente el fosfato tricálcico

in vitro, lo cual nos da una idea que el uso de estas cepas podría ser beneficiosas para los cultivos donde se usen (Urbina et al. 2018). Sin embargo, Abanto-Rodríguez et al. (2019) mencionan que las metodologías que se utilizan para seleccionar a las bacterias solubilizadoras de fósforo, sólo emplea como única fuente el fosfato tricálcico, cuando estas cepas se ponen a prueba en las plantas, son pocas las que muestran una actividad solubilizadora de P (Bashan *et al.*, 2013). Estos microorganismos producen ácidos orgánicos como glucónico que transforman el fósforo no disponible a modo que se encuentre asimilable, para que las plantas puedan aprovechar el P que se acumula en el suelo, en la interacción que se presenta entre las bacterias PSB y las diferentes plantas es importante en la nutrición de los cultivos (Bayuelo et al., 2019). La utilización de bacterias que son nativas de alta potencialidad en la solubilización de fósforo, además de ayudar a la movilización del P en formas disponibles para mejorar la nutrición, también al aislar y reproducir estas cepas al volverlas a incorporar al suelo pueden tener una mejor adaptación porque están acostumbradas al medio (Ardisana et al., 2018).

Objetivo

- Evaluar la reproducción de Bacterias Solubilizadoras de Fósforo para usar como biofertilizante en cultivos de maíz de cajete en la Mixteca Alta de Oaxaca.

Metodología

Zona de trabajo

El suelo que se utilizó para la extracción de cepas de bacterias es de la Mixteca Alta de Oaxaca, localizada entre los 97 y 98°30' de longitud oeste y los 15°45' de latitud norte, tiene un área aproximada de 40000 km², a una altura cercana a los 1700 metros sobre el nivel del mar (INPI, 2018). Formado por montañas, cerros y peñascos que pueden tener una altura de 1,650 a 2,500 metros sobre el nivel del mar (Pérez, 2022).

De una parcela que está ubicada en el municipio de Tonaltepec, se tomaron 16 muestras de suelo rizosférico y 16 de suelo no rizosférico; 16 muestras de raíces de

cuatro parcelas aledañas, dos sembradas con maíz nativo de temporal y las otras dos con maíz de cajete (resistente a sequía). Se realizó el aislamiento, identificación y reproducción de bacterias solubilizadoras de P, a partir de las cuales se reprodujo la cepa de la bacteria *Burkholderia caledonica* que se probó en un experimento como biofertilizantes.



Figura 1. Mapa del área de estudio

Diseño experimental

El experimento se realizó en condiciones de invernadero, considerando 18 tratamientos con tres repeticiones de cada uno (54 unidades experimentales en total). En los tratamientos se consideraron dos tipos de abono: abono verde (trébol) y abono de borrego, dos concentraciones de unidades formadoras de colonias de *Burkholderia caledonica* (UFC 10^{18} y 10^{16}) e incorporación de suelo con HMA y un tratamiento solo con suelo de la mixteca.

En este trabajo la planta que se utilizó para probar la bacteria fue el jitomate variedad (Cereza de la zona Cuetzalan, Puebla) como planta modelo, porque tiene un crecimiento rápido. Sus frutos pueden cosecharse a partir de los 60 días de cultivada, y es una planta que necesita grandes cantidades de fósforo del suelo en la etapa de crecimiento para formar sus primeras hojas verdaderas y también al momento de formar sus frutos (Pérez, 2021). Se germinaron las semillas y después de 39 días se seleccionaron las plántulas más homogéneas con tres pares de hojas verdaderas. Cada planta fue trasplantada a una bolsa de polietileno negro de 20 x 20 cm con 1 kg de suelo de la Mixteca. En las bolsas que llevan abono de borrego

se les agregó 6.28 gramos y las que llevan abono verde 2.199 gramos de trébol, en las bolsas que llevan unidades formadoras de colonias se les agregó 1 ml de las concentraciones mencionadas al momento del trasplante y para las que llevan HMA se agregó 500 gramos del suelo donde estaban las micorrizas y se completó con 500 gramos de suelo de la mixteca.

Determinación de variables

Longitud radicular

Se realiza con ayuda de un papel milimétrico con cuadrículas marcadas a 1 cm de separación y una regla graduada, se colocó en un lugar plano y la hoja cuadrículada cubierta con una placa de plástico transparente.

Se procede a separar la raíz de la planta cortando de la parte del cuello radicular y se extiende sobre el papel cuadrículado y se contó el número de Intersecciones que las raíces hacen con las líneas, si la raíz pasa la hoja se termina de medir con la regla.

Área foliar

Integrador de área foliar o medidor de área foliar óptico, el cual mide la cantidad de luz interceptada por las hojas transformándola en una unidad de superficie.

Para hacer la medición las hojas tienen que estar completamente planas, esto se puede hacer con ayuda de una prensa de madera utilizadas en botánica, el instrumento registra el área, ancho máximo y el ancho promedio.

Fósforo Olsen en el suelo

Para la determinación del fósforo en el suelo se utilizó el método Olsen leyendo a una absorbancia de 882 nm.

Fósforo en tejido vegetal

Para medir el fósforo en tejido vegetal se realizó el método por digestión y la lectura en espectrofotometría a una absorción de 470 nm.

Cuantificación de colonización de HMA

El procedimiento consiste en tomar las plantas de cada tratamiento y cortar las raíces, la digestión se realiza con KOH al 10%, después un aclareo con HCL al 10% para que el tinte se fije a ellas, con ayuda del H₂O₂ se retiran los residuos de materia orgánica y por último se adiciona azul de tripano 0.05% a cada tratamiento analizar. Las raíces se observan al microscopio para cuantificar los arbusculos, vesículas e hifas, para determinar el porcentaje de colonización micorrízica (M%), así como la abundancia de árbusculos (A%) (Phillips y Hayman, 1970).

Actividades realizadas

- 1.- Siembra en cajas Petri de agar selectivo para fosfatasa, por la técnica de barrido o rastrillo de un suelo de la Mixteca Alta de Oaxaca.
- 2.-Preparación del medio específico sólido para la reproducción de la bacteria solubilizadoras de P seleccionada (*Burkholderia caledonica*)
- 3.-Reproducción de la bacteria *Burkholderia caledonica* en medio solido específico.
- 4.-Resiembra de una colonia aislada de un suelo de la Mixteca Oaxaqueña registrada como *Burkholderia caledonica* para recuperar la muestra y obtener biomasa. Con potencial biofertilizante
- 8.-Se obtuvo la biomasa y se recuperó la muestra de la cepa *Burkholderia caledonica* del medio de cultivo selectivo preservando en glicerol al 20% y mantenidos a -15 °C.
- 9.-Reproducción en medio líquido de la bacteria *Burkholderia caledonica* y se midió la absorción en el espectrofotómetro, así como el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC's).
- 10.-Experimento de microcosmos de jitomate inoculado con esta colonia de bacterias *Burkholderia caledonica*: (UFC 108 y 106) en condiciones de invernadero, establecido bajo dos tipos de abonos (verde y abono de borrego) así como HMA y Suelo de la mixteca(realizando 18 tratamientos y tres repeticiones de cada uno en total 54 tratamientos en total).

11.-Evaluación de los efectos de los tratamientos utilizando las variables de Longitud radicular, Área foliar, Fósforo en el suelo, Fósforo en tejido vegetal y Micorrizas (HMA).

12.-Revisión y análisis de los tratamientos para ver si afecta positivamente en el desarrollo y en la disponibilidad de fósforo en cultivo de jitomate.

Objetivos alcanzados

De acuerdo con el objetivo que se estableció en el informe, se comprobó que al reproducir y utilizar bacterias solubilizadoras de fósforo nativas de la Mixteca Alta de Oaxaca, en el experimento de microcosmo, incrementa la disponibilidad de este macroelemento.

Resultados y Discusión

Al analizar las variables para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento del jitomate, se puede observar que en los tratamientos que tenían la cepa de la bacteria *Burkholderia caledonica*, suelo de la mixteca y abono de borrego tuvieron mayores efectos benéficos con respecto a los tratamientos que solo tienen suelo de la mixteca, abono verde y sin cepa.

Los resultados más importantes al analizar las variables fueron los tratamientos T14 con (13.11), T2 (11.12) y T17 (11.90) inoculados con cepa de bacteria y con abono de borrego siendo los tratamientos más sobresalientes en la variable de P en el suelo, en la variable de P en tejido vegetal el tratamiento T2 fue el que tuvo la mayor concentración significativamente con (0.51569), este tratamiento también se inoculó con cepa de bacteria *Burkholderia caledonica* + abono de borrego, en la longitud radicular los tratamientos T6 con (43.83), T5 (35.66) y T11 (34.66) generando un mejor desarrollo y crecimiento de la raíz en la planta de estos tratamientos a la utilización de abono de borrego e inoculación de microorganismos, por último en la variable de área foliar los tratamientos más significativos fueron T15 (82.73) y T6 con (80.80) en los dos tratamientos solo se inoculó con cepa de bacteria y no se le agregó ningún tipo de abono indicándonos que la inoculación con cepas de

microorganismos que son nativos estimulan el crecimiento de las partes aéreas de la planta (Tabla 1).

Tabla 1. Variables evaluadas en el experimento de microcosmos del crecimiento y desarrollo de plantas de jitomate (Cereza).

Tratamiento	Longitud radicular	Area Foliar	(P) en suelo	(P) en Planta	no. De micorrizas				
					F%	M%	A%	m%	a%
T1	21.83	48.2	8.25	0.21604	27.78	0.32	0.03	1.07	4.72
T2	24.33	49.1	11.12	0.51569	23.45	0.29	0.01	1.10	7.63
T3	28.16	51.2	7.75	0.22638	35.56	0.36	0.04	1.00	11.67
T4	23.16	34.33	7.61	0.29840	13.33	0.54	0.00	4.11	0.20
T5	35.66	62.63	10.95	0.38292	38.89	0.43	0.02	1.09	4.09
T6	43.83	80.8	7.54	0.21141	31.11	0.72	0.08	2.51	4.38
T7	24	36.93	8.23	0.23761	16.67	0.81	0.03	4.63	2.79
T8	29	54.06	9.66	0.28467	33.33	0.42	0.01	1.41	4.04
T9	19.83	24.36	8.54	0.11301	22.22	0.27	0.03	1.13	7.57
T10	31.33	46.36	9.11	0.20285	40.00	0.62	0.05	1.48	6.32
T11	34.66	71.13	11.86	0.24457	39.99	0.85	0.03	1.85	7.89
T12	33.66	64.43	9.47	0.25597	61.08	0.83	0.08	1.30	9.48
T13	27.33	47.63	8.69	0.18699	58.89	1.16	1.56	5.32	40.94
T14	32.83	78.76	13.11	0.23210	46.27	0.46	0.04	1.00	8.24
T15	32.83	82.73	9.41	0.20178	22.22	0.32	0.01	1.00	3.90
T16	26.66	45.03	8.33	0.19554	26.67	0.31	0.02	1.12	5.83
T17	13.83	43.3	11.90	0.25434	51.11	0.60	0.03	1.12	3.23
T18	23.66	43.16	9.39	0.26202	41.11	0.54	0.89	11.63	2.15

T1. UFC 10⁸ + Suelo de la mixteca + Abono verde, T2. UFC 10⁸ + Suelo de la mixteca + Abono de borrego, T3. UFC 10⁸ + Suelo de la mixteca + sin abono, T4. UFC 10⁶ + Suelo de la mixteca + Abono verde, T5. UFC 10⁶ + Suelo de la mixteca + Abono borrego, T6. UFC 10⁶ + Suelo de la mixteca + sin abono, T7. UFC 0 + Suelo de la mixteca + Abono verde, T8. UFC 0 + Suelo de la mixteca + Abono borrego, T9. UFC 0 + Suelo de la mixteca + sin abono, T10. UFC 10⁸ + HMA + Suelo de la mixteca + Abono verde, T11. UFC 10⁸ + HMA + Suelo de la mixteca + Abono borrego, T12. UFC 10⁸ + HMA + Suelo de la mixteca + sin abono, T13. UFC 10⁶ + HMA + Suelo de la mixteca + Abono verde, T14. UFC 10⁶ + HMA + Suelo de la mixteca + Abono borrego, T15. UFC 10⁶ + HMA + Suelo de la mixteca + Sin abono, T16. HMA + Suelo de la mixteca + Abono verde, T17. HMA + Suelo de la mixteca + Abono borrego, T18. HMA + Suelo de la mixteca + Sin abono.

Longitud radicular

El tratamiento 6 (UFC 10⁶ + Suelo de la mixteca + sin abono) tuvo la mayor longitud de las raíces con diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos que no tenían cepa o que tenían abono verde, otros tratamientos que tuvieron un crecimiento significativo mayor fueron el T5 y T11.

Los tratamientos que tienen (bacteria + suelo de la mixteca+ abono de borrego) tuvieron el mayor crecimiento radicular (Figura 2). Estos tratamientos aumentan la eficiencia en la asimilación de los nutrientes que influyen en el desarrollo de la planta, estos resultados probablemente se deban al uso de bacterias nativas, así como la secreción de giberelinas y auxinas, que favorecen el desarrollo y alargamiento del sistema radicular. Los autores (Bolívar et al.,(2016) y (García et al.,(2019) en sus investigaciones indicaron que las bacterias del

género *Burkholderia* además de fijar macronutrientes como el fósforo, pueden unir y colonizar las raíces aumentando el número de pelos radicales por la producción de sustancias como auxinas. La utilización de bacterias endófitas como *Burkholderia caledonica* funcionan como alternativa benéfica al desarrollo de la raíz y esto hace que obtenga una mejor absorción de nutrientes.

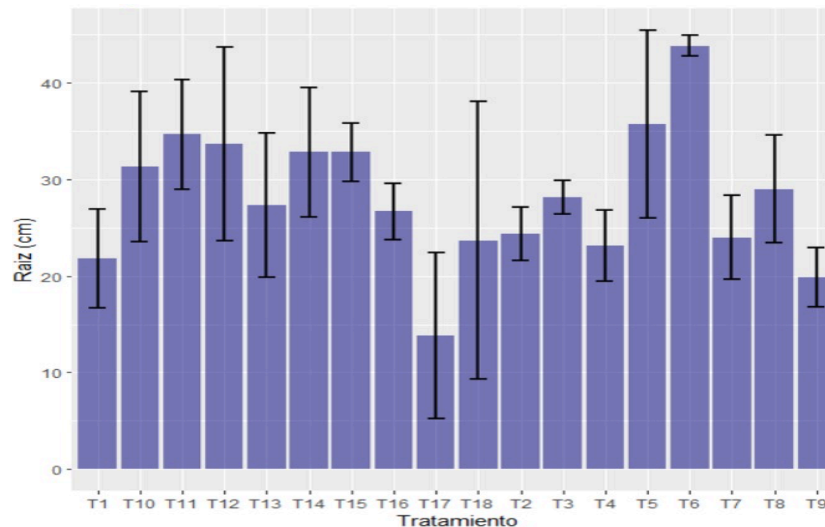


Figura 2. Evaluación de la longitud radicular de los tratamientos de microcosmos de jitomate (Cereza).

El tratamiento 6 (UFC 10^6 + Suelo de la mixteca + sin abono) presentó la mayor longitud radicular, los otros tratamientos que presentaron una diferencia significativa fueron el T5 y T11

Área foliar

El área foliar de las plantas que recibieron el tratamiento de (UFC 10^6 + HMA + Suelo de la mixteca + Sin abono) fue el mayor significativamente, el valor más alto de área foliar se encontró en la planta del tratamiento T15 (Figura 3), esto nos indicaría que las plantas presentaron una mejor adaptación, también que la simbiosis que hacen las micorrizas produjo la mayor absorción de P y por lo tanto la planta en ese tratamiento tuvo un mejor desarrollo.

Los resultados en las plantas de jitomate nos demuestran que la inoculación con microorganismos nativos estimula el crecimiento de las partes aéreas de las plantas de jitomate.

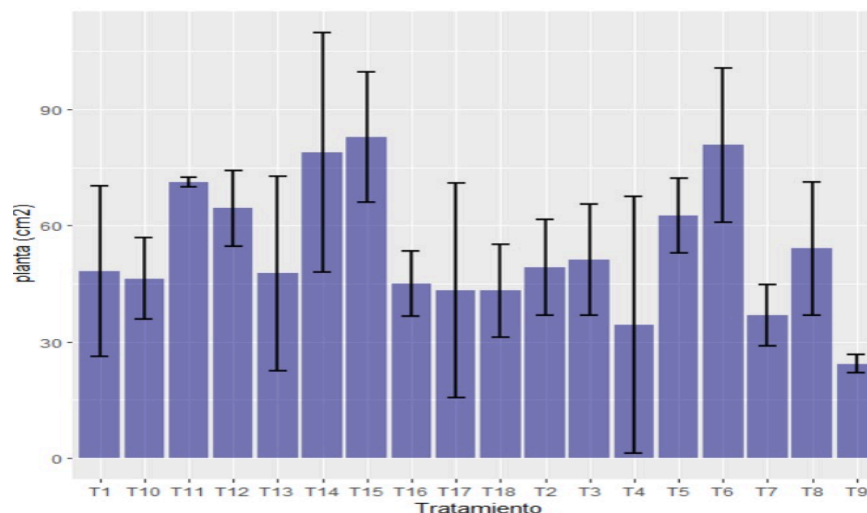


Figura 3. Evaluación del Área foliar de los tratamientos de microcosmos de jitomate (Cereza).

El tratamiento 15 (UFC 10⁶+ HMA + Suelo de la mixteca + Sin abono) presentó el valor más alto del Área foliar.

Fósforo en el suelo

Al analizar el Fósforo en el suelo los tratamientos que presentaron los valores más altos al medir P fueron T14, T17, T11, T2 y T5 (Figura 4). Todos estos tratamientos tienen colonia de bacterias, micorrizas y abono de borrego, lo anterior posiblemente se debió a que se inocularon con colonias de bacterias y micorrizas nativas presentes en el suelo utilizado y al uso de una fuente de materia orgánica rica en fósforo como el abono de borrego (Fernández, 2022) lo cual les favoreció la disponibilidad de P procedente de la mineralización de la materia orgánica y también estos microorganismos tienen la capacidad de solubilizar el fósforo que está retenido en el suelo y convertirlo en fósforo disponible y que sea asimilable.

En comparación con trabajos que usaron otros microorganismos como hongos micorrízicos y bacterias de géneros *Azobacter* (Suprano et al., 2015) y *Pseudomonas* (Bako et al., 2012), porque todavía no se han informado estudios en relación con bacterias del género *Burkholderia* inoculadas en microcosmos de jitomate. En sus trabajos afirman que la aplicación de la combinación de esos microorganismos tuvo efectos positivos en las plantas.

En los tratamientos T3 y T6 que tuvieron las concentraciones más bajas de P disponible, los dos tratamientos se inocularon con unidades formadoras de colonias

10⁶ y sin ningún tipo de abono, presentando diferentes dificultades para liberar el fósforo. Según los autores Jones y Oburger (2011) mencionan que los microorganismos solubilizadores de fósforo pueden competir con los cultivos por el fósforo ya solubilizado, si la biomasa microbiana es mayor que el P inmovilizado.

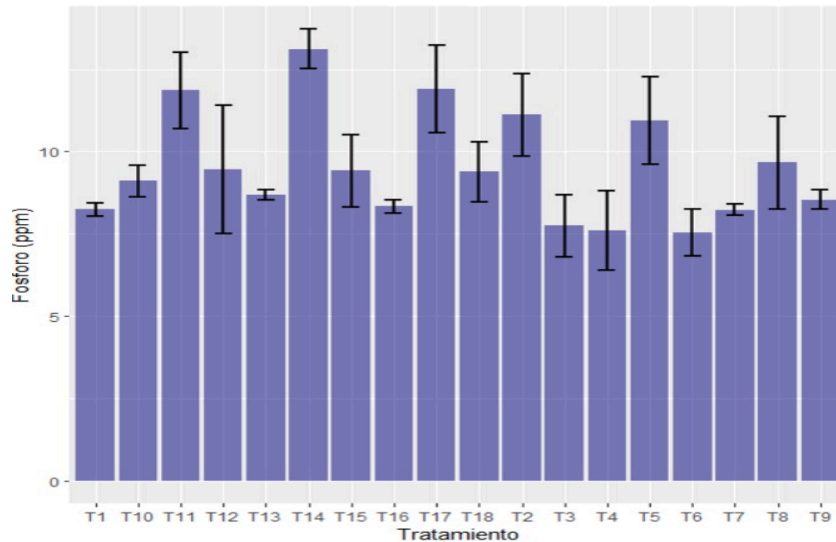


Figura 4. Evaluación del Fósforo en suelo de los tratamientos de microcosmos de jitomate (Cereza).

Los tratamientos que mostraron los valores más significativos fueron T14, T17, T11, T2 y T5, estos tratamientos tienen en común el uso de abono verde y las UFC 10⁸.

Fósforo en tejido vegetal

El valor más alto de fósforo en tejido vegetal se encontró en las plantas de jitomate del tratamiento T2 (UFC 10⁸ + Suelo de la mixteca + Abono de borrego) (Figura 5), después el tratamiento T5 (UFC 10⁶ + Suelo de la mixteca + Abono borrego). Estos tratamientos inoculados con la cepa (*Burkholderia caledonica*) presentaron las mayores concentraciones en el contenido de fósforo en su tejido si se compara con los tratamientos T9 (UFC 0 + Suelo de la mixteca + sin abono) y T18 (HMA + Suelo de la mixteca + Sin abono), esto puede ser un indicador de que la aplicación de colonias de bacterias modificaron el contenido de P en el tejido incrementándolo, lo cual nos indica que la aplicación como biofertilizantes de estos microorganismos podrían ser efectivos en estos suelos. En la investigación de Caballero et al (2007). Indica que el género *Burkholderia* a través de la producción de ácidos orgánicos

solubiliza el fosfato mineral, la habilidad que tienen estas bacterias para convertir fósforo mineral en su estado insoluble a una forma ya disponible, esta especie diazotrófica es promotora del crecimiento vegetal.

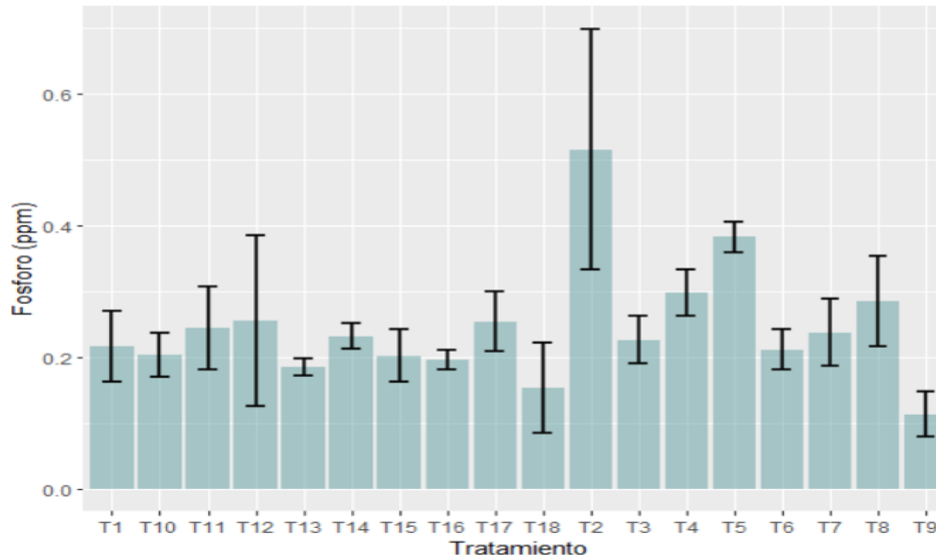


Figura 5. Evaluación del fósforo en tejido vegetal de los tratamientos de microcosmos de jitomate (cereza).

El tratamiento que presentó el valor más significativo fue el T2 (UFC 10^8 + Suelo de la mixteca + Abono de borrego) mostrando la mayor liberación de fósforo en la planta

Cuantificación de colonización de HMA

Al realizar el conteo de las colonias de micorrizas en los tratamientos no hubo diferencias significativas entre los tratamientos que se inocularon solo con micorrizas y los tratamientos que se inocularon con colonias de bacterias + micorrizas, los tratamientos tenían porcentajes similares.

En resumen, los resultados de la investigación nos mostraron que la inoculación con colonias de bacterias solubilizadoras de fósforo nativas de la Mixteca Alta de Oaxaca como *Burkholderia caledonica* en conjunto con otros microorganismos como micorrizas inciden favorablemente en desarrollo y crecimiento de las plantas por las propiedades que tienen para solubilizar fósforo y también ayudar a enriquecer los suelos que presentan una deficiencia de este macronutriente.

Conclusión

Los resultados que se obtuvieron en el cultivo estudiado indican que la inoculación con consorcios de microorganismos que son nativos y eficientes en la solubilización de fósforo como biofertilizante contribuyen a la movilización y en la liberación de nutrientes ayudando directamente para mejorar la productividad de los cultivos de la región.

También la inoculación de estos consorcios puede incrementar la diversidad de la población microbiana del suelo especialmente en suelos empobrecidos, esto nos plantea la posibilidad de reducir el uso de fertilizantes químicos y emplear el uso de biofertilizantes sin perjudicar el desarrollo de los cultivos, También les daría un mayor beneficio a los agricultores en reducir sus costos de insumos externos y mejorar las condiciones microbiológicas del suelo mediante una inoculación periódica de estos microorganismos. En un futuro el uso de estos consorcios de microorganismos se puede convertir en un componente fundamental en los sistemas agrícolas ya que es ecológicamente atractivo y económico.

Es importante considerar para un biofertilizante una mezcla de microorganismos diversa para que se adapten a las diferentes condiciones ambientales para que se puedan emplear en diferentes cultivos.

Recomendaciones

- Para desarrollar en un futuro un biofertilizante se tiene que hacer investigación, pruebas bioquímicas y evaluación de cepas nativas que sean efectivas en la búsqueda de tener rendimientos óptimos en los cultivos, interacción planta-microorganismos.
- Es necesario validar los resultados que se obtuvieron en condiciones de campo, con la finalidad de ajustar y perfeccionar para ser usado como biofertilizante en la Mixteca Alta de Oaxaca.

- Motivar a los agricultores a dejar el uso de fertilizantes químicos y optar por alternativas como microorganismos ya que con su uso mejoran la calidad del suelo y su producción
- Informar y dar a conocer a los agricultores el potencial que tienen los microorganismos como micorrizas y bacterias solubilizadoras de fósforo como biofertilizante en la nutrición de los cultivos

Literatura citada

- (AEFA– Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. Biofertilizantes. Aefa-Agronutrientes.org, 2017. [fecha de Consulta 7 de abril de 2022]. Disponible en: <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/biofertilizantes>}
- Núñez Ernesto. Así Funcionan Los Biofertilizantes. Ciencia UNAM. 2016. [fecha de Consulta 7 de abril de 2022]. Disponible en: http://ciencia.unam.mx/leer/570/Asi_funcionan_los_biofertilizantes95
- María Luisa Santillán,(2016). Así Funcionan Los Biofertilizantes. Ciencia UNAM. [fecha de Consulta 7 de abril de 2022]. Disponible en: http://ciencia.unam.mx/leer/570/Asi_funcionan_los_biofertilizantes
- Natali Laura Barajas . Biofertilizantes: Conceptos, Beneficios y Aplicación en Colombia. ResearchGate. unknown. August 2, 2017. [fecha de Consulta 11 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331454557_Biofertilizantes_conceptos_beneficios_y_aplicacion_en_Colombia
- José Escoto. Efecto de biofertilizantes y productos orgánicos en la producción de nopal verdura. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León: Facultad de Agronomía, 2014. [fecha de Consulta 11 de abril de 2022]. Disponible en: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080253676.PDF>
- Dennys Corrales. Efecto de la aplicación de dos biofertilizantes en diferentes concentraciones en plantines de cacao (theobroma cacao l.) al año de establecimiento en la estación experimental de sapecho. (Tesis de grado) Universidad Mayor de san Andrés Facultad de agronomía: Programa de Ingeniería en Agronomía tropical,2019. [fecha de Consulta 11 de abril de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/22181/T-2674.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Yovana, Erika. Evaluación de Un Biofertilizante (Azotobacter Y Rhizobium) Para Tarwi Y Frijol Cauquí Como Alternativa Ambiental a La Fertilización Nitrogenada.Unmsm.edu.pe, 2019. [fecha de Consulta 11 de abril de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12672/10602>
- Sánchez, J.A y Y. Rubiano.2015. Procesos específicos de formación en Adisoles, Alfisoles y Utisoles en Colombia. Revista EIA 12(2): E85-E97. [fecha de Consulta 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149240052008.pdf>

- Estrada, E., L. I. Trejo, F. C. Gómez, R. Núñez, M. Sandoval. 2011. Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17 (3): 129-138. [fecha de Consulta 12 de abril de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2011000300005
- Molina, E., J. H. Rodríguez. 2012. Fertilización con N, P, K y S, y curvas de absorción de nutrientes en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. *Agronomía costarricense* 36 (1): 39-51. [fecha de Consulta 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/9963/9373>
- Restrepo, G.M., S. Marulanda, Y. De la Fe, A. Diaz, V. Lucia y A. Hernández. 2015. Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista Cenic ciencias Biológicas* 46(1): 63-76[fecha de Consulta 12 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181238817006.pdf>
- Matías, Bence, Daniel A. Lowy, Ankit Singla, Jesus R. Melendez, and Sandor Zsolt. (Comparison of Effects Exerted by Bio-Fertilizers, NPK Fertilizers, and Cultivation Methods on Soil Respiration in Chernozem Soil). *La Granja* 32 (2): 8–18, 2020. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.01>
- Abanto-Rodríguez, Carlos, Gerson Manuel Soregui Mori, Mario Herman Pinedo Panduro, Ena Vilma Velazco Castro, Elvis Javier Paredes Dávila, and Eduardo Medeiros de Oliveira.(Uso de biofertilizantes En El Desarrollo Vegetativo Y Productivo de Plantas de Camu Camu En Ucayali, Perú). *Revista Ceres* 66 (2): 108–16, 2019. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201966020005>
- Urbina, Rene, Suazo Daniel, Isaac Tosta, Vásquez Escuela, Agrícola Panamericana ,and Zamorano Honduras.(Efecto de Dos Biofertilizantes Y Fertilización Convencional En El Crecimiento de Plántulas de Café En La Etapa de Vivero).(Tesis de licenciatura) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.2018. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6409/1/CPA-2018-T093.pdf>
- Bashan, Y., Kamnev, A. ., y de Bashan, L. E.(2013). Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. *Biology and fertility of soils*, 49(4), 465-479. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0737-7>
- Obid, S.A., Idris, A.E., Ahmed, B.E.A.M. 2016. Effect of bio-fertilizer on growth and yield of two maize (*Zea mays* L.) Cultivars at Shambat, Sudan. *Sch. J. Agric. Vet. Sci.* 3(4). <https://tinyurl.com/2px9t8el>
- Guerrero Arenas, R., E. Jiménez y H. Santiago. 2010. La transformación de los ecosistemas de la Mixteca Alta oaxaqueña desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno. *Ciencia y Mar* 14: 61-68 <https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciaymar/2010/no40/4.pdf>
- Jiménez García Angelica. 2018. Estimación del Carbono Almacenado en Reforestaciones con Roturación de Suelo en la Mixteca Alta de Oaxaca. Colegio de Postgraduados. Mexico, Texcoco. http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2992/Garcia_Jimenez_A_MC_Hidrociencias_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bocco, G., Castillo, BS, Orozco-Ramírez, Q., & Ortega-Iturriaga, A. (2019). La agricultura en terrazas en la adaptación a las condiciones climáticas en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Revista de Geografía Latinoamericana* 18 (1), 141-168. doi:10.1353/lag.2019.0006 .
- Bayuelo-jiménez, jeannette; ochoa, ivan; de la cruz-torres, eulogio; muraoka, takashi. Suelo en las formas y disponibilidad de fósforo de un Andisol de la Meseta P'urhépecha,

Michoacán. Terra Latinoamericana, v. 37, n. 1, 2019, p. 35-44.10.28940/tl.v37i1.367
<https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.367>

- Ardisana, Eduardo Héctor; Millet-Gaínza, Bárbara; Torres-García, Antonio; Fosado-Téllez, Osvaldo. Agricultura en Sudamérica: la huella ecológica y el futuro de la producción agrícola. Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades, v. 5, 2018, p. 90-101. 10.37135/chk.002.05.06
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2550-67222018000100090
- Etnografía del pueblo mixteco. (2018, 29 marzo). gob.mx. (NPI) Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas <https://www.gob.mx/inpi/articulos/etnografia-del-pueblo-mixteco-nuu-savi>
- Aparicio, J. C. A. (2018). Enotaxonomía mixteca de algunos insectos en el municipio de San Miguel el Grande, Oaxaca, México. *Etnobiología*, 16(2), 58-75. <file:///C:/Users/Raymundo%20jr/Dropbox/PC/Downloads/Dialnet-EnotaxonomiaMixtecaDeAlgunosInsectosEnElMunicipio-6536858.pdf>
- Fernández Casanova, B. (2022). *Bacterias solubilizadoras de fosfato que forman biopelículas sobre hifas extrarradicales de hongos formadores de micorrizas y su relación en la nutrición vegetal del fósforo*. Universidad Nacional de Colombia. <https://tinyurl.com/2dx9th5y>
- J.M. Phillips, D.S. Hayman, (1970), Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection, Transactions of the British Mycological Society, Volume 55, Issue 1. <https://tinyurl.com/262rmafo>
- Soto Gonzalo, M. P., García Orellana, Y., Simbaña, A. G., Tello, E. G., Brito Borges, J., & Torres Rodríguez, D. (2020). Propuesta de un protocolo para la obtención de fertilizante orgánico a partir de microalgas. *Agroindustria, Sociedad Y Ambiente*, 1(14), 92-109. Recuperado a partir de <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2834>