

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS



“SOLUBILIZACIÓN NUTRICIONAL CON *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* EN FRIJOL EJOTERO (*Phaseolus vulgaris* L.)”

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS HORTOFRUTÍCOLAS**

PRESENTA

JESÚS ANTONIO OLIVAS RODRÍGUEZ

CHIHUAHUA, CHIH., NOVIEMBRE DE 2021

TÍTULO DE LA TESIS:

“SOLUBILIZACIÓN NUTRICIONAL CON *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* EN FRIJOL EJOTERO (*Phaseolus vulgaris* L.)”

ÁREA DE INVESTIGACIÓN

BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

SUBÁREA

BIOTECNOLOGÍA

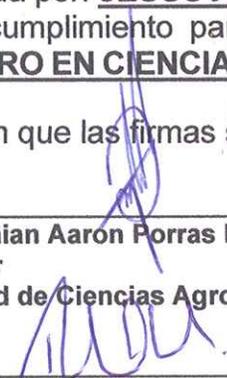


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

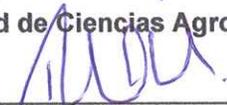
Los que suscriben, certifican que han leído y recomiendan a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas la aceptación de la tesis de Maestría titulada: **“SOLUBILIZACIÓN NUTRICIONAL CON *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* EN FRIJOL EJOTERO (*Phaseolus vulgaris* L.)”**

Realizada por: **JESÚS ANTONIO OLIVAS RODRÍGUEZ**
Como cumplimiento parcial de los requerimientos para obtener el Título de **MAESTRO EN CIENCIAS HORTOFRUTÍCOLAS**

Ratifican que las firmas son verdaderas:



Dr. Damian Aaron Porras Flores
Director
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



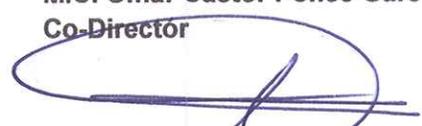
M.C. Ramón Saúl Luján Aguirre
Secretario Académico
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



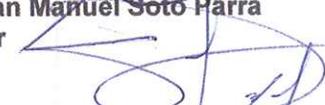
Dr. Francisco Javier Piña Ramírez
Director de Tesis



M.C. Omar Castor Ponce García
Co-Director



Dr. Juan Manuel Soto Farra
Asesor



Dra. Silvia Amanda García Muñoz
Asesor



Dra. Lorenza Esther Martínez Escudero
Asesor



Dra. Rosa María Yañez Muñoz
Asesor



Dra. Linda Citlalli Noperi Mosqueda
Asesor

29 / Noviembre / 2021

Fecha



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

THE UNIVERSITY OF CHIHUAHUA
AGROTECHNOLOGY SCIENCE

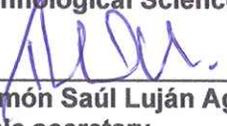
The undersigned certify that they have read, and recommend to the Agrotechnology Sciences Department for acceptance, of the thesis entitled: **"NUTRITIONAL SOLUBILIZATION WITH *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* IN EJOTERO BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)"**

Submitted by: **JESÚS ANTONIO OLIVAS RODRÍGUEZ**
In partial fulfillment of the requirements for the certificate of **MASTER IN FRUIT AND VEGETABLE SCIENCES**

Ratify that signatures are real:



Dr. Damian Aaron Porras Flores
Department Chair
Agrotechnological Sciences Department



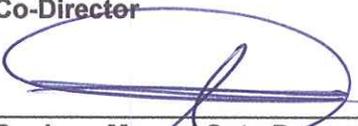
M.C. Ramón Saúl Luján Aguirre
Academic secretary
Agrotechnological Sciences Department



Dr. Francisco Javier Piña Ramírez
Major-professor



M.C. Omar Castor Ponce García
Co-Director



Dr. Juan Manuel Soto Parra
Advisor



Dra. Silvia Amanda García Muñoz
Advisor



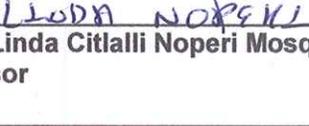
Dra. Lorenza Esther Martínez Escudero
Advisor



Dra. Rosa María Yáñez Muñoz
Advisor

29/November/2021

Date



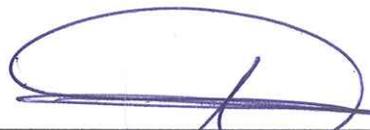
Dra. Linda Citlalli Noperi Mosqueda
Advisor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

El que se suscribe, miembro del **Cuerpo Académico UACH-CA-11 FRUTALES DE ZONA TEMPLADA.** ha fungido como parte integral en la asesoría de **JESÚS ANTONIO OLIVAS RODRIGUEZ** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: **“SOLUBILIZACIÓN NUTRICIONAL CON *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* EN FRIJOL EJOTERO (*Phaseolus vulgaris* L.)”**



Dr. Juan Manuel Soto-Parra
Integrante

29/ Noviembre / 2021

Fecha

Cd. Universitaria s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Francisco Javier Piña Ramírez** por estar en su grupo de trabajo y el apoyo empleado en el proyecto y por su gran amistad.

Al **M.C. Omar Castor Ponce García** agradecer por su apoyo, enseñanza en el transcurso del proyecto de investigación, por sus exigencias me ayudaron a crecer académicamente, por todo lo nuevo aprendido, por su confianza y amistad brindada.

Al **Dr. Juan Manuel Soto Parra** agradecer por su apoyo en proporcionar el equipo de análisis y por sus propuestas para mejorar el proyecto de investigación.

A la **Dra. Rosa María Yáñez Muñoz** agradecer por el acceso a los laboratorios de la facultad y por sus revisiones en el proyecto de investigación.

A la **Dra. Linda Citlalli Noperi Mosqueda** agradecer por su gran apoyo en los procesos de análisis de laboratorio.

A la **Dra. Silvia Amanda García Muñoz** y a la **Dra. Esther Martínez Escudero** por el apoyo en las revisiones de mi proyecto de investigación.

A todo el equipo de trabajo del **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)** Sitio Experimental Sierra de Chihuahua, por su colaboración por su apoyo en los experimentos. En especial gracias a Aaron Almeida Barraza y Fernando Holguín.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico de la beca.

Agradecer a la **Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH)** y a mi **Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (FACIATEC)**, al área de posgrado, a los docentes, administrativos y todo el equipo de esta gran institución educativa.

DEDICATORIA

Primeramente, agradecer a dios, a mis padres Jesús Antonio Olivas Solís y María Guadalupe Rodríguez López por todo el apoyo brindado en el transcurso de la Maestría, a mi esposa e hijo mi motor más grande Irán Aylin Castro Miramontes y Emiliano Antonio Olivas Castro, a mis hermanos José Alfonso Olivas Rodríguez y Amy Guadalupe Olivas Rodríguez a mi cuñado Jacobo Orpinel Chaparro y a mis sobrinas Sara Collin Orpinel Olivas y Mariana Alexa Orpinel Olivas gracias por todo el apoyo familia.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Producción en México y a nivel mundial	3
2.1.1 Frijol ejotero (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	3
2.2 Agricultura orgánica	3
2.3 Abonos orgánicos	4
2.3.1 Relación carbono nitrógeno C/N	5
2.4 Fósforo en los abonos orgánicos.....	5
2.4.1 Fósforo inorgánico.....	5
2.4.2 Fósforo orgánico	6
2.5 Microorganismos	6
2.5.1 Microorganismos Solubilizadores de fosfatos	6
2.5.2 Mecanismos de solubilización de fósforo	7
2.5.2.1 Enzimas.....	7
2.5.2.2 Ácidos orgánicos	7
2.5.3 <i>Bacillus subtilis</i>	8
2.5.4 <i>Pseudomonas fluorescens</i>	8
2.6 Materiales orgánicos en interacción con microorganismos.....	9
2.7 interacción microorganismo-planta	9

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1 Ubicaciones de los Sitios Experimentales.	10
3.1.1 Experimento 1 y 2	10
3.1.2 Experimento 3	10
3.2 Diseños experimentales.....	10
3.2.1 Diseño experimental 1.....	10
3.2.2 Diseño experimental 2.....	10
3.2.3 Diseño experimental 3.....	11
3.3 Estrategia experimental de la primera fase del experimento bajo condiciones controladas.	11
3.3.1 Variables evaluadas en la primera fase experimental	12
3.3.1.1 Técnica de P (fósforo) extraíble por el método de Bray y Kurtz 1	12
3.4 Estrategia experimental de la segunda fase del experimento bajo condiciones de vivero.	12
3.4.1 Variables evaluadas en la segunda fase experimental	13
3.4.1.1 Análisis de conductividad eléctrica (CE).....	13
3.4.1.2 Análisis de K (potasio) por medio de Horiba Cardy C-131	13
3.5 Estrategia experimental de la Tercera fase del experimento bajo condiciones de vivero.	14
3.5.1 Variables evaluadas en la tercera fase experimental.....	15
3.5.1.1 Índices de contenido relativo de clorofila por medio de SPAD 502 Plus Minolta	15
3.5.1.2 Área foliar total de planta mediante CI-202 Laser.....	15
3.5.1.3 Peso fresco parte aérea	15
3.5.1.4 Peso seco de raíz y parte aérea de planta	16
3.6 Análisis estadístico	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17

4.1 Primera fase del experimento bajo condiciones controladas.	17
4.1.1 solubilización de fosfatos en el factor microorganismo	17
4.1.2 Solubilización de fosfatos en el factor material orgánico	18
4.1.3 Solubilización de fosfatos en la interacción microorganismo x material orgánico	19
4.2 Segunda fase del experimento bajo condiciones de vivero.	20
4.2.1 Conductividad eléctrica en el factor microorganismo	20
4.2.2 Conductividad eléctrica en el factor material orgánico	21
4.2.3 Conductividad eléctrica en la interacción microorganismo x material orgánico	22
4.2.4 Gráfica de dispersión y línea de tendencia de la conductividad eléctrica en la solución del suelo	23
4.2.5 Contenido de potasio en la solución del suelo por efecto de la interacción microorganismo x material orgánico	24
4.2.6 Gráfica de dispersión y línea de tendencia del potasio en la solución del suelo.....	25
4.2.7 Contenido de sodio en la solución del suelo por la interacción microorganismo x material orgánico	27
4.2.8 Solubilización de fosfatos en la solución del suelo en el factor material orgánico	28
4.2.9 Solubilización de fosfatos en la solución del suelo en el factor microorganismo.....	29
4.2.10 Solubilización de fosfatos en la solución del suelo por la interacción microorganismo x material orgánico	30
4.2.11 Gráfica de dispersión y línea de tendencia de la solubilización de fosfatos en la solución del suelo	32
4.3 Tercera fase del experimento bajo condiciones de campo.	33
4.3.1 Índice de contenido relativo de clorofila mediante SPAD	34

4.3.2 Área foliar total de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo.....	36
4.3.3 Peso fresco de la parte aérea de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo	37
4.3.4 Peso seco de la raíz por la interacción de la fertilización x factor microorganismo.....	38
4.3.5 Peso seco de la parte aérea de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo	40
4.3.6 Biomasa seca total de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo.....	41
V. CONCLUSIONES	43
VI. LITERATURA CITADA.....	45
VII. ANEXOS	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro número	Título	Página
Cuadro 1.	Contenido mineral de los diferentes materiales orgánicos.	11
Cuadro 2.	Características del sustrato utilizado para los experimentos.	15
Cuadro 3.	Interacción en el contenido de Fósforo soluble en los materiales orgánicos inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	20
Cuadro 4.	Variables de producción por los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	34
Cuadro 5.	Interacción en el contenido de clorofila expresado en Unidades SPAD por los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	36
Cuadro 6.	Interacción en el área foliar total de la planta expresado en (cm ²) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	37
Cuadro 7.	Interacción en el peso fresco de la parte aérea de la planta expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	38
Cuadro 8.	Interacción en el peso seco de la raíz expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	39
Cuadro 9.	Interacción en el peso seco de la parte aérea de la planta expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	41
Cuadro 10.	Interacción en la biomasa seca total de la planta expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura número	Título	Página
Figura 1.	Solubilización de fosfatos en materiales orgánicos por efecto de la inoculación con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	18
Figura 2.	Solubilización de fosfatos en materiales orgánicos expresado en kilogramos de pentóxido de fósforo por tonelada de material orgánico.	19
Figura 3.	Conductividad eléctrica en la solución del suelo por efecto de la inoculación con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	21
Figura 4.	Conductividad eléctrica en la solución del suelo de los materiales orgánicos expresado en (microSiemens/cm ⁻¹).	22
Figura 5.	Conductividad eléctrica en la solución del suelo de los materiales orgánicos por efecto de la inoculación con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i> expresado microSiemens/cm.....	23
Figura 6.	Gráfica de dispersión y línea de tendencia de la conductividad eléctrica en la solución del suelo: A) Control, B) <i>Bacillus subtilis</i> y C) <i>Pseudomonas fluorescens</i>	24
Figura 7.	Contenido de potasio en la solución del suelo de los materiales orgánicos por efecto de la inoculación con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i> expresado microSiemens/cm.....	25
Figura 8.	Gráfica de dispersión y línea de tendencia del contenido de potasio en la solución del suelo: A) Control, B) <i>Pseudomonas fluorescens</i> y C) <i>Bacillus subtilis</i>	26
Figura 9.	Contenido de sodio en la solución del suelo de los materiales orgánicos por efecto de la inoculación con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i> expresado en mg L ⁻¹	28
Figura 10.	Contenido de fosfatos en la solución del suelo de los materiales orgánicos inoculados con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i>	29
Figura 11.	Contenido de fosfatos en la solución del suelo por efecto de la inoculación con <i>P. fluorescens</i> y <i>B. subtilis</i> expresado en (mg L ⁻¹) de pentóxido de fósforo.	30

Figura 12. Tendencia en la solubilización de fosfatos en los materiales orgánicos inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*..... 31

Figura 13. A) Gráfica de dispersión y línea de tendencia del fósforo en la solución del suelo: A) Control, B) *Bacillus subtilis* y C) *Pseudomonas fluorescens*. 33

RESUMEN

La nutrición orgánica es un sistema de producción, que utiliza materiales naturales para conservar la producción agrícola, con un menor impacto en el medio ambiente. Los materiales orgánicos más empleados para la fertilización son las compostas y lombricompostas. La principal problemática en el uso de estos materiales orgánicos es la baja tasa de mineralización. Se reporta que bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* tienen la capacidad de solubilizar fosfatos mediante excreciones de ácidos orgánicos, lo cual favorece la disponibilidad del fósforo en los cultivos. El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de la solubilización de nutrientes en materiales orgánicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* bajo condiciones controladas, de vivero y campo donde se evaluó el potencial de la solubilización de nutrientes en diferentes ensayos. Los resultados mostraron el aumento en el contenido de fósforo soluble disponible en los tratamientos inoculados con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, lo cual, es indicador de un proceso de solubilización por parte de los microorganismos. En los materiales orgánicos se observó que las lombricompostas fueron estadísticamente superiores a la composta. En la interacción de los factores se encontró que el resultado más importante fue la inoculación de *Pseudomonas fluorescens* en lombricomposta en los experimentos uno y dos, en el tercer experimento se encontró que la inoculación de *Bacillus subtilis* se adapta más a las condiciones de la región, en el cultivo de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), donde aumento significativamente la solubilización de fósforo. Los resultados obtenidos son de importancia para enfatizar en la problemática de la baja disponibilidad de algunos nutrientes esenciales en los cultivos y por efecto desarrollar biotecnologías para una mayor disponibilidad de nutrientes en las plantas.

Palabras clave: Microorganismos, composta, lombricomposta, nutrientes, nutrición orgánica.

ABSTRACT

The organic nutrition is a production system that uses natural materials to conserve agricultural production, with less impact on the environment. The organic materials most used for fertilization are compost and vermicomposts. The main problem in the use of these organic materials is the low mineralization rate. Bacteria of the *Bacillus* and *Pseudomonas* genera are reported to have the ability to solubilize phosphates through organic acid excretion, which favors the availability of phosphorus in crops. The objective of this project was to evaluate the effect of nutrient solubilization in organic materials inoculated with *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* under controlled, nursery and field conditions where the potential of nutrient solubilization was evaluated in different trials. The results showed the increase in the soluble phosphorus content available in the treatments inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*, which is an indicator of a solubilization process by the microorganisms. In organic materials it was observed that vermicomposts were statistically superior to compost. In the interaction of the factors, it was found that the most important result was the inoculation of *Pseudomonas fluorescens* in vermicompost in experiments one and two, in the third experiment it was found that the inoculation of *Bacillus subtilis* is more adapted to the conditions of the region, in the cultivation of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.), where phosphorus solubilization significantly increased. The results obtained are important to emphasize the problem of the low availability of some essential nutrients in crops and, as a result, develop biotechnologies for a greater availability of nutrients in plants.

Keywords: Microorganisms, compost, vermicompost, nutrients, organic nutrition.

I. INTRODUCCIÓN

La Nutrición orgánica es un sistema de producción que promueve el uso de compuestos naturales para mantener la productividad de los cultivos con un menor efecto en el medio ambiente (Luh *et al.*, 2020; Benton, 2012). La composta y lombricomposta son materiales usados como fertilizantes en la nutrición orgánica (Larkin, 2020), sin embargo, la baja tasa de mineralización en estos abonos provoca que las plantas no alcancen su máximo potencial productivo (Benton, 2012; Navarro y Navarro 2014). Se ha observado que la adición de microorganismos puede potenciar el uso de materiales orgánicos e incrementar el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en la solución del suelo (Halvin *et al.*, 2014; Browne *et al.*, 2009). Esto se debe a que los microorganismos tienen un papel fundamental en el ciclo biogeoquímico de la mayoría de los nutrientes además de tener un efecto directo en la degradación de compuestos orgánicos (Ros *et al.*, 2010; Rosatto *et al.*, 2014). Aunado a lo anterior, los microorganismos producen ácidos orgánicos y metabolitos secundarios que actúan análogamente a las fitohormonas, por lo que pueden estimular el crecimiento vegetal (Leal Almanza *et al.*, 2018). Estudios realizados con poblaciones microbianas en materiales orgánicos mostraron que las bacterias pertenecientes a los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* son las de mayor importancia, ya que pueden incrementar el desarrollo de las plantas por su capacidad de solubilizar fosfatos (Escobar *et al.*, 2012; Rajankar y Wate, 2007; Restrepo *et al.*, 2015). Sin embargo, se ha observado que la mayoría de los estudios con estas bacterias se ha realizado en laboratorio, por lo que es necesario trasladar estos resultados a experimentos de campo que corroboren los datos obtenidos en laboratorio. Por lo anterior, el objetivo del presente experimento fue evaluar el efecto de la solubilización de nutrientes en materiales orgánicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* bajo condiciones controladas, de vivero y campo.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la solubilización de nutrientes en materiales orgánicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* bajo condiciones controladas, de vivero y campo.

Objetivos específicos

1.- Evaluar el efecto de la solubilización de nutrientes en materiales orgánicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* en incubadora.

2.- Evaluar el efecto de la solubilización de nutrientes en materiales orgánicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* bajo condiciones de vivero.

3.- Evaluar el efecto de la solubilización de nutrientes en materiales orgánicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* bajo condiciones de campo en planta.

Hipótesis

Los materiales orgánicos inoculados con los microorganismos *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* presentaran una solubilización de nutrientes en comparación con los tratamientos testigo en las tres etapas experimentales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción en México y a nivel mundial

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una legumbre comestible de mayor consumo a nivel mundial, la cual proporciona una gran cantidad de proteínas, vitaminas y minerales a la dieta del continente Americano, sobre todo países de desarrollo emergente (Ulloa *et al.*, 2011; Hurtado *et al.*, 2018). Salinas *et al.* (2012) menciona que la producción de frijol ejotero en el mundo es de 10.6 t ha⁻¹ (Yvestirilly, 2002), y a nivel nacional se cosechan 10 t ha⁻¹ bajo condiciones de riego. Los estados con mayor producción se encuentran Morelos, Puebla, Hidalgo y Sinaloa, que producen un 78.9 % de la producción total nacional (SAGARPA, 2009). El 45 % del frijol que se consume en el país es importado de otros países, esto se debe a que el 60 % del frijol se siembra en zonas no aptas para su cultivo y bajos rendimientos, el 87 % de la producción se produce en temporal esto quiere decir que la lluvia es el factor más importante para producir esta legumbre (SIAP, 2008).

2.1.1 Frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.)

El frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) es una legumbre comestible a nivel mundial y contiene una alta fuente de proteínas, vitaminas, fibras y carbohidratos (Suárez Martínez *et al.*, 2016; García Bernal *et al.*, 2020). A esta legumbre se le atribuyen propiedades nutricionales, por presentar un bajo contenido calórico (Adsule *et al.*, 2004), que puede ayudar a reducir el sobrepeso en la población consumidora. El género *Phaseolus* es el más importante del punto de vista nutricional y alimenticio, este cultivo se siembra en la mayoría de las zonas agrícolas de México. Por esto representa una gran importancia en diferentes factores como lo es el nutricional, alimenticio, cultural y económico (Basurto Peña, 2000; Reyes Matamoros *et al.*, 2014).

2.2 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica evita el uso de productos químicos y plaguicidas (Saffeullah *et al.*, 2021). Este tipo de agricultura potencializa la fertilidad del suelo de una forma ecológica (Edwardson y Santacoloma, 2013). Al mismo tiempo

minimiza la compactación del suelo, la pérdida de materia orgánica y la contaminación ambiental derivado de un manejo convencional (Vaarst, 2010). Durante los últimos años del presente siglo, la agricultura orgánica emergió económicamente con mayor crecimiento (Soto, 2020). El mercado orgánico se encuentra en un proceso de constante crecimiento no solo en países desarrollados si no también en países en vía de desarrollo (Calsina, 2013; Choque y Castro, 2020).

2.3 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos están hechos principalmente de los desechos de animales, contienen elementos químicos esenciales para las plantas y proliferan microorganismos que los descomponen. (Wongsaroj *et al.*, 2021). La incorporación de abonos orgánicos en el suelo mejora las propiedades físico, químicas y biológicas, lo cual, incrementa la fertilidad de los suelos (Boudet *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2020). El uso de fertilizantes orgánicos es factible en el ámbito económico, ecológico y ambiental (Hui, *et al.*, 2017; Ning, *et al.*, 2017; Wang, *et al.*, 2018). Una de las principales causas para adoptar los abonos orgánicos es el excesivo precio de los insumos químicos, ya que este tipo de fertilizante es amigable con el ambiente. (FAO, 2018; Castillo, 2019). El compostaje es un proceso de descomposición de residuos orgánicos mediante microorganismos (Olivares, *et al.*, 2012). La composta es un material utilizado como fertilizante, mejorador de suelos, ya que incrementa el contenido de ácidos húmicos, fúlvicos, materia orgánica y nutrientes esenciales. El producto final es utilizado como fertilizante orgánico (Román, *et al.*, 2013; Rodríguez Castro, 2019). La lombricomposta es otro tipo de abono orgánico, es un método de composteo pasivo, que utiliza lombriz roja californiana (*Lumbricus rubellus*) para elaborar humus de lombriz utilizado como fertilizante orgánico (CDI, 2008). Contiene altos porcentajes de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Este proceso es ecológico y de bajo costo (Crespo *et al.*, 2012). Diferentes estudios han encontrado que el contenido de macro y micro nutrientes en la lombricomposta es mayor que en la composta tradicional, esta contiene altos niveles de los principales nutrientes en formas más asimilables para las plantas como lo es el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio, lo que promueve mejores rendimientos en los cultivos (Su *et al.*, 2015).

2.3.1 Relación carbono nitrógeno C/N

La relación carbono-nitrógeno (C/N), es una relación entre el contenido de carbono orgánico y el nitrógeno total, es un indicador de la mineralización de la materia orgánica del suelo y tiene una fuerte relación con las propiedades del suelo, es una relación fácil de medir que puede variar considerando las características del suelo (López Falcón, 2002; Segueda *et al.*, 2011; Soto Mora *et al.*, 2016). Barreros Chiluisa (2017) y Romero Batallán (2010) mencionan que la relación carbono/nitrógeno debe ser inferior a 20, los valores tienen influencia en la disponibilidad del nitrógeno. Cuando los valores son altos los microorganismos tienen un exceso de nitrógeno para descomponer la materia orgánica en este caso el carbono y como consecuencia se da un proceso de inmovilización de nitrógeno de forma orgánica. Valores bajos en la relación C/N indican contenidos muy altos de nitrógeno, en el caso de que los valores sean muy bajos implica una solubilización más rápida de la materia orgánica. Es por esto que contenidos de nitrógeno muy altos pueden implicar pérdida de materia orgánica.

2.4 Fósforo en los abonos orgánicos

El fósforo es uno de los principales macronutrientes para el crecimiento y productividad de los cultivos, ya que realiza importantes reacciones fisiológicas como lo son, la división celular, fotosíntesis, desarrollo de la raíz y en el uso de carbohidratos. La importancia de este elemento influye en la formación de moléculas, orgánicas: ácidos nucleicos, ATP, fosfolípidos y en transporte de energía en la planta (Herrera Méndez, 2020). El contenido de nutrientes en los cultivos ha sido muy estudiado, un ejemplo es el nitrógeno y el fósforo, que se les atribuye mejoras en parámetros morfológicos de las plantas, como también aumenta las concentraciones de nutrientes en la planta y estimula el desarrollo de la raíz (Razaq *et al.*, 2017; González *et al.*, 2020).

2.4.1 Fósforo inorgánico

El fósforo inorgánico en general representa el 35 al 70 % del fósforo total en el suelo (Harrison, 1987). Los minerales principales del fósforo están las apatitas,

strengitas y variscitas los cuales tienen estabilidad, y la disponibilidad del fósforo por meteorización (roca fosfórica) es muy lento para cumplir con la demanda de este elemento en la agricultura (Galeana, 2016).

2.4.2 Fósforo orgánico

El fósforo orgánico este compuesto por diferentes fracciones la que es muy cambiante hasta la que es muy resistente a la mineralización. Por lo general los componentes orgánicos centrales del ciclo del fósforo son los residuos de flora y fauna que liberan ácidos nucleicos, fosfolípidos y esteroides que representan entre el 30 y 60 % (Wei *et al.*, 2016; Arias, 2019).

2.5 Microorganismos

Los microorganismos participan en procesos que permiten el funcionamiento de diferentes hábitats y son los responsables de la descomposición de la materia orgánica y de los diferentes ciclos de elementos más importantes como lo son el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre (Montaño *et al.*, 2010; Duarah *et al.*, 2011). Higa y Wididana (1991), reportan que grupos de levaduras, actinomicetos y bacterias cumplen funciones importantes para mejorar las características físicas, biológicas de los cultivos, actúan como antagonistas a diferentes patógenos y promueven el área radicular de las plantas (Guzmán, 2021). Los mecanismos de microorganismos PGP (microorganismos promotores del crecimiento vegetal) como lo menciona Jiménez (2020), describe que diversos microorganismos son utilizados como biofertilizantes, entre los que se encuentran la movilización de nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.

2.5.1 Microorganismos Solubilizadores de fosfatos

Entre los microorganismos que existen se encuentran las bacterias solubilizadores de fosfatos, las cuales, tiene la capacidad de solubilizar fosfatos inorgánicos a través de diferentes procesos como la liberación de enzimas, secreción de ácidos orgánicos, producción de sideróforos entre otros (Mishra *et al.*, 2013). Debido que las fuentes orgánicas no son empleadas directamente para la nutrición de los microorganismos, deben primero pasar por un proceso de hidrólisis por las enzimas fosfatasas, producidas y secretadas por el suelo a

través de los microorganismos presentes en el suelo (Singh y Satyanarayana, 2012). Una de las grandes ventajas en la aplicación de microorganismos solubilizadores de fósforo representa una alternativa para cambiar el uso indiscriminado de fertilizantes químicos. En revisiones bibliográficas se encuentra diversa información de las ventajas del uso de bacterias solubilizadoras de fósforo (Suleman *et al.*, 2018). En estudios realizados se ha demostrado que el uso de hongos y bacterias tienen la capacidad de solubilizar fósforo e incrementan sustancialmente los rendimientos en cultivos agrícolas (Chuang *et al.*, 2007; Valverde *et al.*, 2007; Patiño y Sanclemente, 2014).

2.5.2 Mecanismos de solubilización de fósforo

2.5.2.1 Enzimas

Las enzimas son compuestos liberados por microorganismos y plantas en la solución del suelo para crear procesos bioquímicos como la digestión, solubilización y descomposición. Aunque son moléculas pequeñas, tienen una gran importancia en todos los procesos bioquímicos dependiendo de la relación con estas. La disponibilidad de las enzimas depende del estado del suelo, actividad microbiana, y condiciones biofísicas como la aireación, temperatura, humedad, estructura y contenido de materia orgánica (Larios Barrón, 2021).

2.5.2.2 Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos que solubilizan fosfato poseen una carga negativa, forman complejos con cationes metálicos en la solución y desplazan los aniones en la solución del suelo (Stevenson, 1967; Sagoe *et al.*, 1998; Paredes y Espinosa, 2010). La solubilización de fosfatos por ácidos orgánicos depende del pH y el contenido mineral en el suelo. Los ácidos orgánicos solubilizan fosfatos, el peso molecular es bajo y tienen uno o más grupos carboxilo. Uno de los principales mecanismos de solubilización de fósforo es la liberación de ácido glucónico o 2-cetoglucónico, que tiene la capacidad de mineralizar el fósforo no disponible del suelo. La producción de estos ácidos tiene variabilidad dependiendo de los exudados del sistema radicular de las plantas (Ahemad y Khan, 2014; Molina *et al.*, 2015; Otieno *et al.*, 2015).

2.5.3 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis es una bacteria bacilo Gram-positiva, de condición aeróbica, produce endosporas altamente resistentes a condiciones ambientales extremas (Maughan y Van der Auwera, 2011) y es un microorganismo de hábitat natural del suelo. Una de sus principales características es la capacidad de crear esporas en condiciones adversas, y crecer en diferentes rangos de temperaturas, desde los 15 °C a los 55 °C (Deza *et al.*, 2012; Almeida, 2020). La clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Bacteria

Filo: Firmicutes

Clase: Bacilli

Orden: Bacillales

Familia: Bacillaceae

Género: Bacillus

Especie: Bacillus subtilis

2.5.4 *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas fluorescens es una bacteria bacilo Gram-negativa, recta o ligeramente curva, falciforme, aeróbica, tienen una estructura con varios flagelos polares. Tienen una gran capacidad de estimular el crecimiento de la planta (Pérez *et al.*, 2015). *Pseudomonas fluorescens* también tiene la capacidad de realizar efecto directo en las plantas mediante la producción de fitohormonas, acelerar la germinación, inhibir etileno y la solubilización de fósforo en el suelo (Santoyo *et al.*, 2016). Otra de sus características es la producción de fluorescencia, de ahí el origen de su nombre, esto debido a que producen pioverdina que es un colorante fluorescente soluble en agua. Las condiciones de crecimiento oscilan en temperaturas que van de los 25 a 30 °C (Palleroni, 2005; Álvarez García *et al.*, 2020). La clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Bacteria

Filo: Proteobacteria

Clase: Gammaproteobacteria

Orden: Pseudomonadales

Familia: Pseudomonadaceae

Género: Pseudomonas

Especie: *Pseudomonas fluorescens* Migula

2.6 Materiales orgánicos en interacción con microorganismos

En el proceso de creación de la composta, diferentes microorganismos participan por medio de exudados de enzimas hidrolíticas que tienen un papel fundamental en la descomposición de las partículas de los materiales orgánicos (Silva y Díaz, 2020). La aplicación de abonos orgánicos como los es el compost inoculado con microorganismos eficientes es una alternativa para la nutrición de las plantas y manejo de suelos (Barrera Violeth *et al.*, 2017). En la interacción suelo-planta los microorganismos son esenciales en el ciclo del fósforo, realizan procesos de transformación, solubilizan el fosfato y convierten este elemento esencial disponible para las plantas (Barea y Richardson, 2015; Galecio Julca *et al.*, 2020).

2.7 interacción microorganismo-planta

Las diversas funciones de los microorganismos en la agricultura, se desarrolla de acuerdo a diversos factores bióticos, como la competencia entre los microorganismos, la estructura biológica del suelo, el reconocimiento de las plantas, de la interacción microorganismo-planta y planta-microorganismo (Cano, 2011). La respuesta a la inoculación de microorganismos en las plantas tiene diversos factores para que sean compatibles como funcionales en la interacción. Entre los elementos microbianos, se tienen diferentes respuestas, dependiendo de los diversos microorganismos que existan (Vázquez *et al.*, 2000). Estas interacciones entre las plantas con los microorganismos son importantes para su desarrollo y crecimiento, en la zona radicular de las plantas se encuentran un gran número de microorganismos como los son las bacterias y los hongos con habilidades de producir hormonas, compuestos antagónicos, solubilización de nutrientes y la descomposición de materia orgánica (Andreote *et al.*, 2014; Morales Barrón *et al.*, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto fue dividido en 3 etapas: 1) Primera fase del experimento bajo condiciones controladas, 2) Segunda fase del experimento bajo condiciones de vivero y 3) Tercera fase del experimento bajo condiciones de campo.

3.1 Ubicaciones de los Sitios Experimentales.

3.1.1 Experimento 1 y 2

El primer y segundo experimento (Anexo 1) se realizaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), campo experimental Sierra Madre de Chihuahua, ubicado en la ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

3.1.2 Experimento 3

El tercer experimento (Anexo 1) se realizó en una parcela agrícola ubicada en Cuauhtémoc Chihuahua, México. Con coordenadas 28.406009 y -106.907177. En un terreno de 10x10 metros.

3.2 Diseños experimentales.

3.2.1 Diseño experimental 1

El primer experimento (Anexo 2) bajo condiciones controladas se trabajó con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3x2 y un control con 4 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en tres materiales orgánicos (Cuadro 1) y dos microorganismos (*Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*).

3.2.2 Diseño experimental 2

El segundo experimento (Anexo 3) bajo condiciones de vivero. Se trabajó con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x2 y un control con 5 repeticiones por tratamiento. Se trabajó con dos materiales orgánicos (L1 y C1) y dos microorganismos (*Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*).

3.2.3 Diseño experimental 3

El tercer experimento (Anexo 4) bajo condiciones de campo se trabajó con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4x2 y un control con 5 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en cuatro dosis de fertilización y dos microorganismos (*Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*).

Cuadro 1. Contenido mineral de los diferentes materiales orgánicos.

Determinación	Unidad	L 1	L 2	C1
pH		7.36	6.52	7.28
C.E.	(dS m ⁻¹)	8.46	8.64	24.9
M.O.		22.99	36.24	21.4
C	(%)	13.36	21.06	12.44
C:N		14.8	14.7	18.9
C:P		33.4	52.7	42.1
Nitrógeno		0.898	1.428	0.658
Fósforo		0.400	0.400	0.296
Potasio		0.920	0.590	1.005
Calcio	(%)	0.975	1.350	3.945
Magnesio		0.350	0.345	0.330
Sodio		0.069	0.085	0.152
Fierro		9050	8500	7650
Zinc		84	139	183
Manganeso	mg Kg ⁻¹	510	866	346
Cobre		21	35	56

*L. = Lombricomposta; C = Composta; C.E. =Conductividad eléctrica; M.O.= Materia orgánica.

3.3 Estrategia experimental de la primera fase del experimento bajo condiciones controladas.

En la primera fase experimental bajo condiciones controladas se utilizaron contenedores de plástico esterilizados transparentes con capacidad de 2.5 onzas. El sustrato utilizado consistió en tres tipos de materiales orgánicos (dos lombricompostas y una composta). Se colocaron 100 gramos de material orgánico en cada tratamiento correspondiente. Posteriormente se prepararon inoculantes microbianos comerciales, los inoculantes utilizados fueron los siguiente, *Bacillus subtilis* QST 713 en una concentración de 1x10⁹ UFC SERENADE SOIL® producto comercial de Bayer, para el tratamiento *Pseudomonas fluorescens* en una concentración de 1x10¹¹ UFC producto

comercial de micro vida y un testigo sin inoculante. El día que se montó el experimento se inoculo 1.6 mL de la suspensión del microorganismo para cada tratamiento llevado a capacidad de campo y en el control se utilizó agua destilada sin inoculo. Los contenedores se introdujeron en cámara de crecimiento a una temperatura de $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$. al transcurrir una semana se aplicó el primer riego con 20 mL de agua destilada, consecutivamente durante cuatro semanas. Para el análisis se realizó al final del experimento. Se utilizó 25 gramos de muestra y se introdujeron en estufa de aire forzado a una temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ para detener el crecimiento del microorganismo y posteriormente realizar el análisis químico.

3.3.1 Variables evaluadas en la primera fase experimental

3.3.1.1 Técnica de P (fósforo) extraíble por el método de Bray y Kurtz

1

En el análisis de fosforó (P), se siguió la metodología de Bray y Kurtz (1945), posteriormente se pesaron 3 gramos de sustrato tamizado, y se vació la muestra en frascos de vidrio de 100 ml para cada unidad experimental. Posteriormente se agregó 21 mL de solución Bray, se taparon los frascos se procedió a agitar durante un minuto y después se filtraron en frascos de vidrio de 100 mL. Se procedió a en un tubo chico de rosca 7 mL de la muestra filtrada Bray + 2 mL de Molibdato de Amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ + 1 mL de Cloruro Estanoso SnCl_2 (0.1 de solución madre en 33 mL de agua desionizada). Se realizo un Blanco como control sin muestra de sustrato con los reactivos anteriores, 7 mL de Bray + 2 mL de Molibdato de Amonio + 1 mL de Cloruro Estanoso, se agitó y se dejó reposar durante 15 minutos. Posteriormente se precedió a vaciar en celdillas para realizar la lectura en espectrofotómetro HACH DR 5000, ajustando la longitud de onda en 660 nm de Absorbancia.

3.4 Estrategia experimental de la segunda fase del experimento bajo condiciones de vivero.

En la segunda fase experimental se utilizaron macetas de polietileno negro de capacidad de 3 kilogramos colocadas bajo malla sombra. Las bolsas se llenaron

con 2 kg de suelo y se adicionaron con 5 g del material orgánico correspondiente. Posteriormente, se inoculo 1.6 mL de la suspensión del microorganismo correspondiente a cada tratamiento (se implementaron los productos del primer experimento). Las unidades experimentales se establecieron bajo condiciones de vivero. Se estableció un SSAT lisímetro de succión de 30 cm marca IRROMETER para la extracción de la solución en cada tratamiento. al transcurrir una semana se aplicó el primer riego con 965 mL de agua destilada combinada con el inoculo del microorganismo para cada unidad experimental, consecutivamente durante 8 semanas. Para el análisis se extrajo una muestra de solución por semana en un total de ocho muestreos para el análisis.

3.4.1 Variables evaluadas en la segunda fase experimental

3.4.1.1 Análisis de conductividad eléctrica (CE)

Para el análisis de CE se pesaron 10 gramos de muestra, se vaciaron en frascos de vidrio de 100 mL para cada unidad experimental, se agregaron 25 mL de agua destilada, se agito durante 10 minutos en el agitador de orbita y se dejaron reposando durante 20 minutos. Después se procedió a tomar las lecturas en potenciómetro HANNA HI 991301 con electrodo para EC/TDS Temperature, la calibración del equipo se realizó mediante solución buffer pH 4 y 7. se determinó con base a la metodología 1:2 con agua destilada.

3.4.1.2 Análisis de K (potasio) por medio de Horiba Cardy C-131

Para el análisis de K se utilizó 1 mL de muestra liquida para cada unidad experimental, se empleó jeringa de 10 mL y posteriormente se agregó la muestra en el sensor para determinar la ppm de potasio en la muestra, se utilizó un medidor de iones de K Horiba Cardy C-131 de rango de medición de 0 a 3900 ppm. La calibración del equipo se realizó por medio de solución estándar de calibración de potasio de 150 ppm.

3.4.1.3 Análisis de Na (sodio) por medio de Horiba Cardy C-122

Para el análisis de Na se utilizó 1 mL de muestra liquida para cada unidad experimental, se empleó Jeringa de 10 mL y posteriormente se agregó la muestra en el sensor para determinar la ppm de sodio en la muestra, se utilizó

un medidor de iones de Na Horiba Cardy C-122 de rango de medición de 0 a 2300 ppm. La calibración del equipo se realizó por medio de solución estándar de calibración de sodio de 150 ppm.

3.4.1.4 Análisis de fosfatos por el método de aminoácidos

La concentración de fosfatos se determinó por la metodología de aminoácidos por medio de colorimetría, se tomaron muestras de 10 mililitros de los lisímetros de succión con jeringa de la misma cantidad y se analizaron *in situ*, se agregó la solución de la muestra en frascos de vidrio graduados de 10 mL, se adicionaron los reactivos en el siguiente orden 0.5 mL de reactivo A HI93717-01 ácido sulfúrico H₂SO₄, y un sobre de reactivo B HI93717B-0 metabisulfito de sodio Na₂S₂O₅, posteriormente se agitaron las muestras durante 5 minutos. Finalmente se determinó la absorbancia mediante fotómetro compacto multiparamétrico HANNA HI83325. Para la calibración del equipo se utilizó como blanco agua desionizada.

3.5 Estrategia experimental de la Tercera fase del experimento bajo condiciones de campo.

En la tercera fase experimental se utilizaron macetas de polietileno negras de capacidad de 7 kilogramos. El suelo se caracterizó (Cuadro 2) y se encontró que contiene una clasificación textural franco arcillo arenosa, se colocaron semillas de frijol ejotero a una profundidad 1.5 a 2 cm. El día de la siembra se inoculo 3 mL de la suspensión del microorganismo aforado en 1 litro de agua para su respectivo tratamiento en una concentración de 1×10^{11} UFC* para *P. fluorescens* y para la cepa *B. subtilis* QST 713 1×10^9 UFC* para el control se aplicó agua sin inoculo. después de la emergencia se eliminó una planta por maceta. la fertilización en los tratamientos se aplicó por medio de las combinaciones de los tres materiales orgánicos (dos tipos de lombricomposta y una composta), para la fertilización química convencional se utilizaron los siguientes materiales (Urea CH₄N₂O, Fosfato Diamónico DAP (NH₄)₂HPO₄, y Sulfato de Potasio K₂SO₄). Los riegos se aplicaron cada tercer día, para la fertilización orgánica se aplicaron en dos etapas al inicio de siembra y a los 40 días después de siembra, para la fertilización química se dividió en tres etapas de fertilización en el ciclo del cultivo.

Cuadro 2. Características del sustrato utilizado para los experimentos.

Determinación	Valor	Unidad	Prueba
pH	6.71		Agua 1:2
C.E.	0.68	(dS m ⁻¹)	Extracto de saturación
M.O.	0.93	(%)	Wlalkey y Black
CIC	8.28	(meq 100 g ⁻¹)	
Textura	Franco arcillo arenosa		
Porcentaje de saturación	29.5	(%)	
Fósforo	19.38		Bray 1
Calcio	1236		
Magnesio	180		Extracción con Acetato de amonio
Sodio	51		
Potasio	156	(mg Kg ⁻¹)	
Fierro	28.56		
Manganeso	15.42		Extracción con DTPA
Zinc	1.9		
Cobre	0.8		

3.5.1 Variables evaluadas en la tercera fase experimental

3.5.1.1 Índices de contenido relativo de clorofila por medio de SPAD 502 Plus Minolta

El índice de contenido de clorofila se midió durante cada semana desde el inicio de la primera hoja verdadera hasta llenado de vainas, con aparato SPAD 502 Plus Minolta en un rango de 0 a 50 unidades.

3.5.1.2 Área foliar total de planta mediante CI-202 Laser

El área foliar total de la planta se midió con un escáner laser CI-202, la medición se realizó al final del ciclo fenológico de la planta, se midió toda el área foliar de cada tratamiento.

3.5.1.3 Peso fresco parte aérea

La parte aérea fresca (tallo y hojas) de la planta se seccionaron y posteriormente se pesaron en balanza analítica OHAUS para cada tratamiento.

3.5.1.4 Peso seco de raíz y parte aérea de planta

La parte de las raíces y la parte aérea (tallo y hoja) se introdujeron en bolsas de papel estraza por separado y previamente pesadas y secadas en estufa de secado de aire forzado a una temperatura de 75 °C durante 72 h, el tejido vegetal de cada unidad experimental posteriormente se pesó en balanza analítica OHAUS.

3.6 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para identificar diferencias entre los tratamientos, se realizó un ajuste de regresión para determinar relación entre las variables y para la comparación múltiple de medias se utilizó el método de Tukey ($p < 0.05$), con el software IBM SPSS Statistics 25.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Primera fase del experimento bajo condiciones controladas.

4.1.1 solubilización de fosfatos en el factor microorganismo

Uno de los principales factores que favorecen la solubilización de fosfatos es la actividad biológica, por lo que la aplicación de algunas bacterias puede favorecer los procesos de mineralización e incrementar el contenido de fósforo en la solución del suelo (Benton, 2012). Para el presente estudio, se encontraron diferencias estadísticas significativas para el factor microorganismo. Se observó que los materiales orgánicos inoculados con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* aumentaron el contenido de fósforo disponible en un 6.50 % y un 4.60 % respectivamente (Figura 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Ngo *et al.*, (2013), quienes mencionaron que la solubilización de fosfatos en materiales orgánicos se debe principalmente a la acción de microorganismos. En este contexto, Roychowdhury *et al.*, (2015), mencionan que las bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* tienen capacidad de solubilizar fosfatos mediante excreciones de ácidos orgánicos, lo cual favorece los procesos de solubilización. Escobar *et al.* (2012), realizaron un estudio de poblaciones microbianas en diferentes materiales orgánicos y encontraron que las bacterias de mayor importancia son las que se encuentran en los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* a su vez mencionan que una mayor cantidad de microorganismos podría estar relacionada con el contenido de algunos nutrientes esenciales incluido el fósforo.

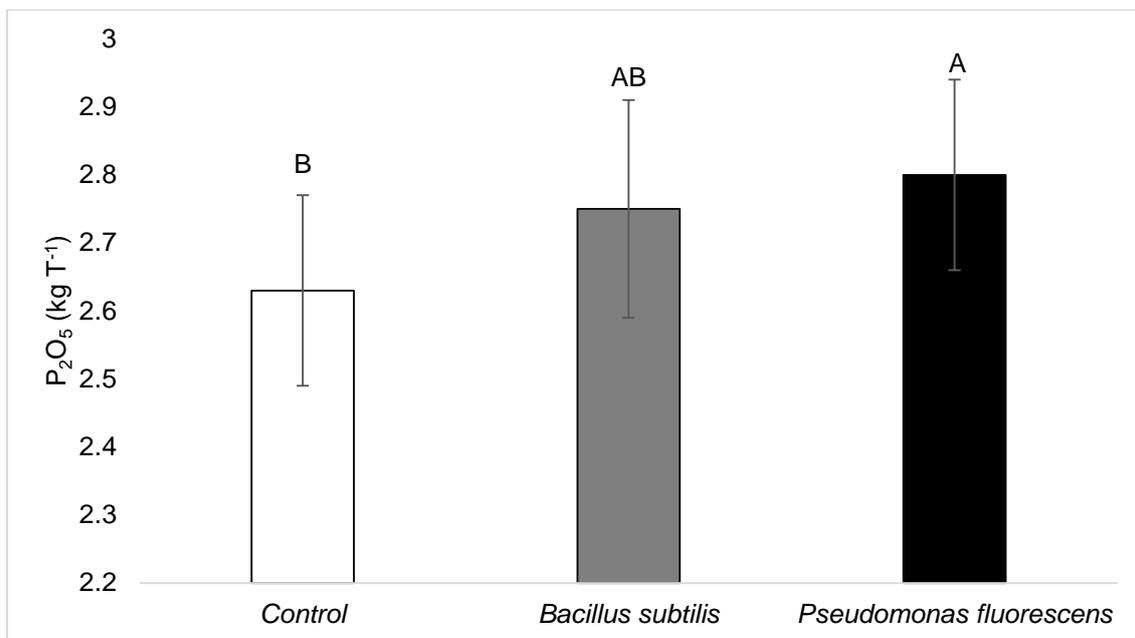


Figura 1. Solubilización de fosfatos en materiales orgánicos por efecto de la inoculación con *P. fluorescens* y *B. subtilis*. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

4.1.2 Solubilización de fosfatos en el factor material orgánico

En lo que se refiere factor de material orgánico se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. Se observó que las lombricompostas fueron estadísticamente similares y superiores con respecto a la composta (Figura 2). De acuerdo Halvin *et al.* (2014), la relación C:P es uno de los factores que más afecta la solubilización; conforme esta relación incrementa, ocurre un proceso de inmovilización y cuando la relación es más baja comienza un proceso de mineralización, sin embargo, se observó que para el presente experimento el principal factor que influyó fue el contenido de fósforo, pues se encontró que las lombricompostas contenían un 35 % más de este elemento en relación a la composta (Tabla 1). En un estudio realizado por Olivares *et al.* (2012), se probó el efecto de la aplicación de composta y lombricomposta como mejorador de suelo y fertilizante y encontraron que el tratamiento composta fue superior estadísticamente a la lombricomposta, lo cual no coincide con lo encontrado en el presente trabajo. Esto puede ser ocasionado por que se midió el fósforo total, mientras que para el presente proyecto se midió el disponible. En un estudio en el que se midió el contenido de nutrientes en materiales orgánicos realizado por Beltrán *et al.* (2019), se encontró que la lombricomposta presentó valores bajos

de fósforo en relación a estiércoles, sin embargo, se consideró como uno de los mejores en cuanto al contenido de nutrientes asimilables. Aunado a lo anterior, Karwal y Kaushik (2020), mencionaron que la lombricomposta es una fuente importante de nutrientes para los cultivos, lo cual coincide con lo encontrado para fósforo en este experimento.

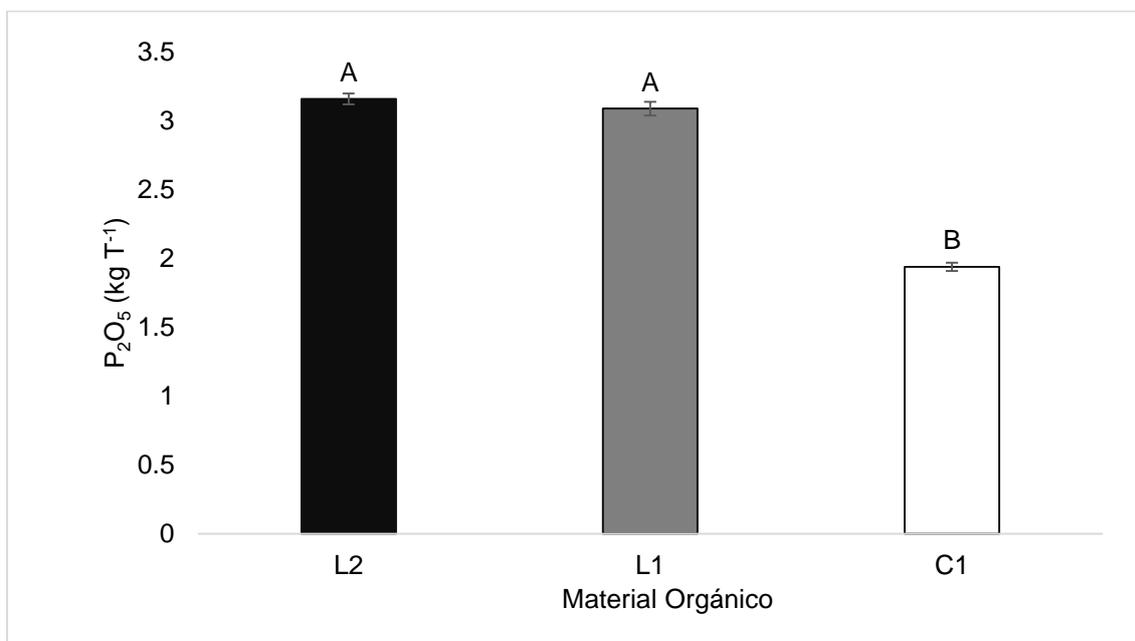


Figura 2. Solubilización de fosfatos en materiales orgánicos expresado en kilogramos de pentóxido de fósforo por tonelada de material orgánico. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). C1: Composta 1, L1: lombricomposta 1 y L2: lombricomposta 2.

4.1.3 Solubilización de fosfatos en la interacción microorganismo x material orgánico

Para la interacción microorganismo-materia orgánica se observaron diferencias significativas (Cuadro 3). Se encontró que los materiales orgánicos inoculados con *Pseudomonas fluorescens*, en general fueron ligeramente mayores, seguidos por *Bacillus subtilis* y el control. Sin embargo, estadísticamente el resultado más importante se observa en L1P, en la cual, la inoculación con *Pseudomonas fluorescens* incrementó significativamente la solubilización fósforo respecto al testigo y fue el tratamiento más alto. Estos resultados coinciden con lo reportado por Lukash. (2019), quien encontró que la

inoculación con *Pseudomonas fluorescens* en lombricomposta incrementó la disponibilidad de fósforo. Browne *et al.*, (2009), mencionaron que la bacteria *Pseudomonas fluorescens* puede favorecer los procesos de solubilización de fósforo. A su vez diversos autores han mencionado que las bacterias pertenecientes al género *Pseudomonas* son solubilizadoras de fósforo gracias a su capacidad de producir ácidos como el glucónico y 2-cetoglucónico, los cuales actúan sobre compuestos insolubles de fosfato y los transforman en fósforo soluble para las plantas (Ramírez *et al.*, 2014; Paredes y Espinosa, 2010; Miller *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Interacción en el contenido de Fósforo soluble en los materiales orgánicos inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Contenido de fósforo soluble (mg Kg ⁻¹)	Error experimental
L1C	2.52 B*	0.05 ^{E.E.}
L1B	2.79 AB	0.07
L1P	2.83 A	0.03
L2C	2.80 AB	0.08
L2B	2.76 AB	0.05
L2P	2.73 AB	0.10
CC	1.61 C	0.03
CB	1.68 C	0.06
CP	1.81 C	0.04

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. C1C: Composta sin inóculo, C1P: Composta inoculada con *Pseudomonas fluorescens*, C1B: Composta inoculada con *Bacillus subtilis*, L1C: lombricomposta sin inóculo, L1P: lombricomposta inoculada con *Pseudomonas fluorescens*, L1B: lombricomposta inoculada con *Bacillus subtilis*, L2C: lombricomposta sin inóculo, L2P: lombricomposta inoculada con *Pseudomonas fluorescens* y L2B: lombricomposta inoculada con *Bacillus subtilis*.

4.2 Segunda fase del experimento bajo condiciones de vivero.

4.2.1 Conductividad eléctrica en el factor microorganismo

La conductividad eléctrica es la medida que se basa en la velocidad donde la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, es proporcional a la concentración de sales en la solución (Soriano Soto, 2018). En la conductividad eléctrica del factor microorganismo (Figura 3) se encontró que en el muestreo 1 hubo una cantidad de sales solubles muy similar entre los tratamientos y el control, esto se puede deber a una inactividad por parte de los microorganismos.

En los muestreos 2, 3 y 4 no se encontró diferencia significativa, pero se mostró un incremento en la cantidad de sales solubles por parte de los tratamientos con inóculo con respecto al control, esto se puede deber a la liberación de nutrientes asociadas a las inoculaciones con bacterias solubilizadoras (Bhattacharyya y Jha, 2012). Posteriormente en los muestreos 5, 6, 7 y 8 se vio una caída en la tendencia de la cantidad de sales solubles y no se encontró diferencias significativas esto se puede deber a que a partir del muestreo 5 no se inoculó microorganismos en los tratamientos.

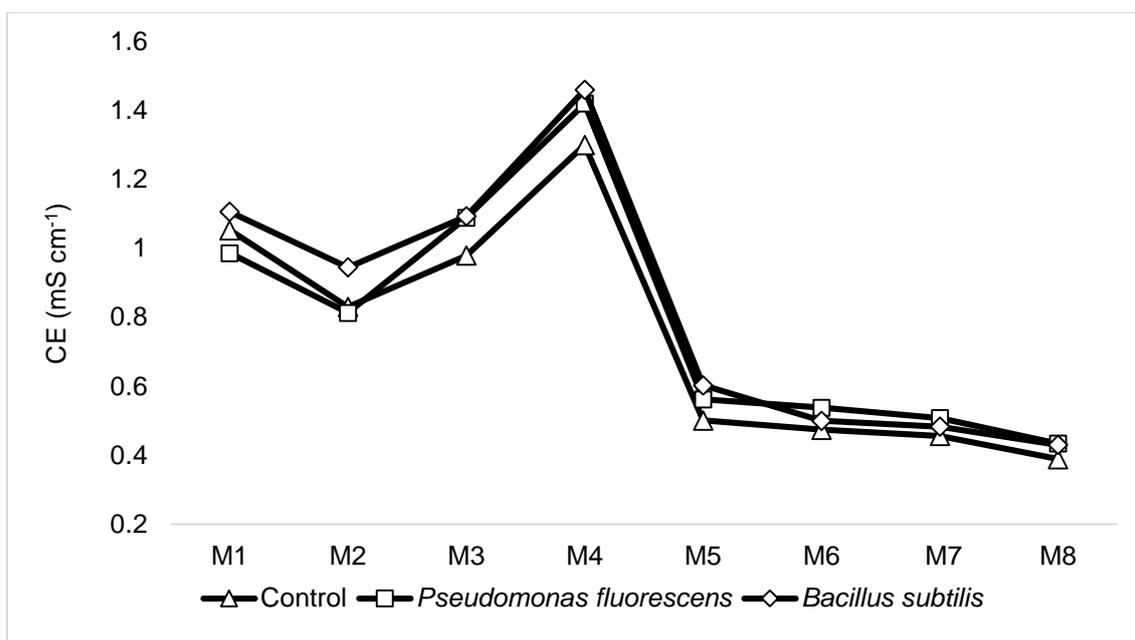


Figura 3. Conductividad eléctrica en la solución del suelo por efecto de la inoculación con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

4.2.2 Conductividad eléctrica en el factor material orgánico

El uso de materiales orgánicos es una alternativa como tratamiento de suelos, ya sea hecha de diferentes materiales: humificada, abonos verdes o desechos de animales o de cultivos. Principalmente se aplica al suelo pasado por un proceso de compostaje (Herrán *et al.*, 2010). En el factor material orgánico (Figura 4) de la conductividad eléctrica se encontraron diferencias significativas en todos los muestreos donde la composta tiene una conductividad eléctrica mayor a la lombricomposta, esto debido a la concentración de sales solubles es más alta en la composta, tiene una diferencia de 16.44 (mS cm⁻¹) con respecto a la lombricomposta. Donde Soriano Soto (2018), indica que por el método de

pasta saturada un nivel mayor a 8 (mS cm^{-1}) es un sustrato muy salino. La lombricomposta se muestra una cantidad menor de concentración de sales debido a que la materia orgánica contribuye en una mayor cantidad de bases.

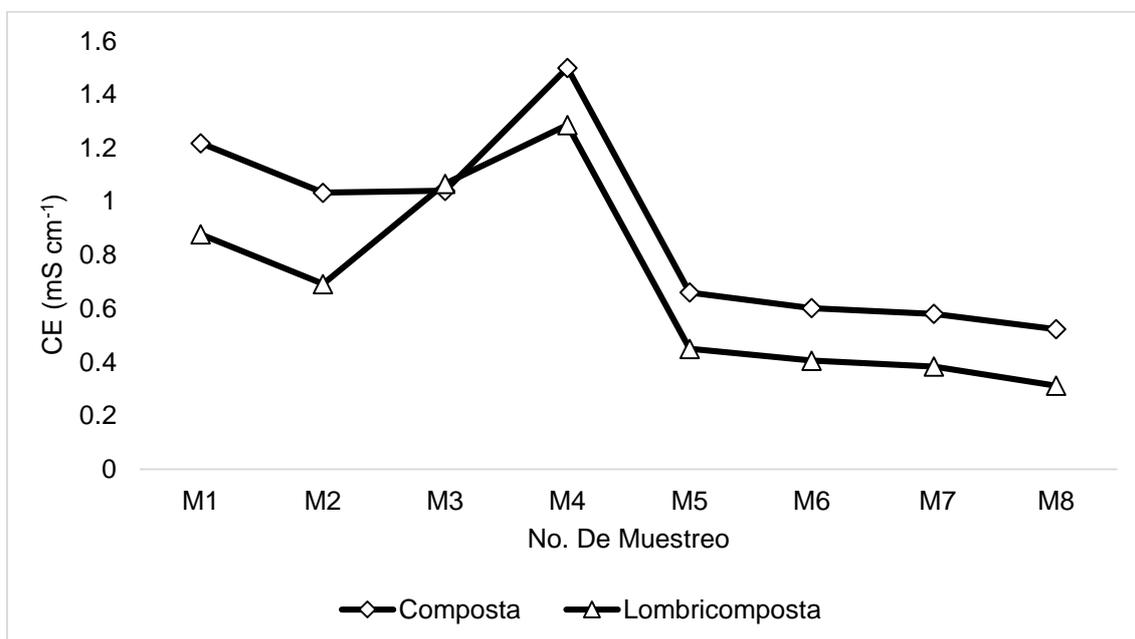


Figura 4. Conductividad eléctrica en la solución del suelo de los materiales orgánicos expresado en ($\text{microSiemens/cm}^{-1}$).

4.2.3 Conductividad eléctrica en la interacción microorganismo x material orgánico

En la interacción factor microorganismo x factor material orgánico la conductividad eléctrica (Figura 5) en el muestreo 1 no mostro diferencias significativas esto se debe a que los microorganismos no comienzan un proceso acelerado con los procesos de solubilización. En el muestreo 1, 2 y 3 se encontraron diferencias significativas en los tratamientos. El tratamiento superior fue la composta inoculada con *Pseudomonas fluorescens* (C1P) tuvo un valor promedio de $0.949 \text{ (mS cm}^{-1}\text{)}$ con respecto a los controles con un valor promedio de $0.747 \text{ (mS cm}^{-1}\text{)}$. En el muestreo 4 se obtuvo el pico más alto esto significa que mientras se desarrolla el proceso de solubilización y descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos incrementa la concentración de sales debido a la pérdida de la masa en la sales como lo indica Morales *et al.* (2009), La composta inoculada con los microorganismos generalmente se presentó más alta con respecto a la lombricomposta en el contenido de sales

solubles, esto se debe a el contenido inicial de sales del material y al proceso de mineralización de nutrientes por parte de los microorganismos.

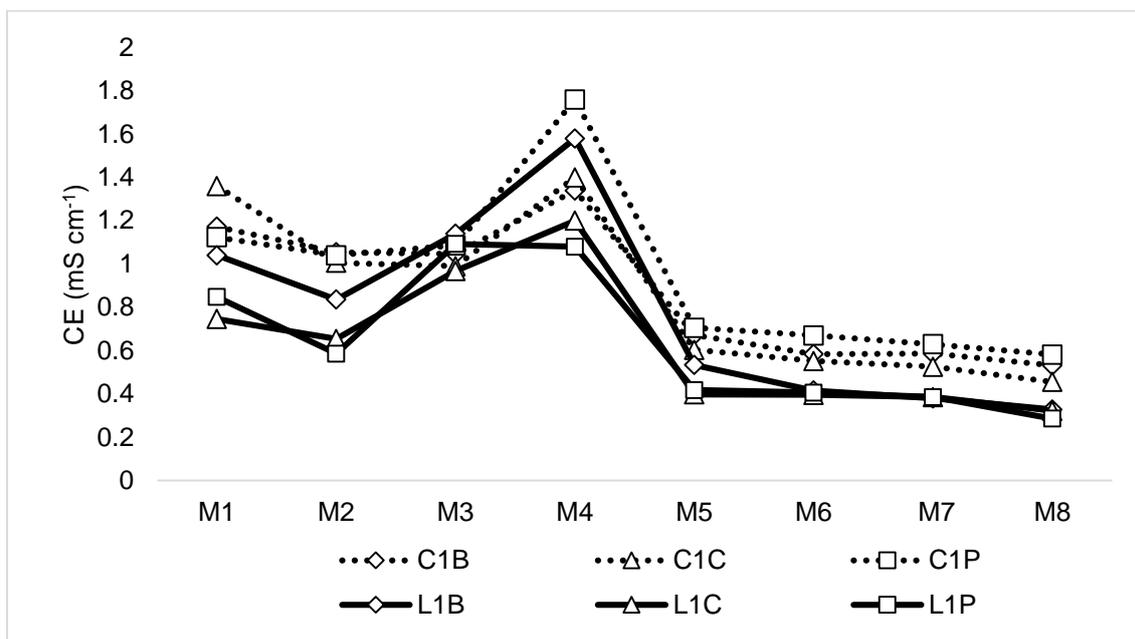


Figura 5. Conductividad eléctrica en la solución del suelo de los materiales orgánicos por efecto de la inoculación con *P. fluorescens* y *B. subtilis* expresado microSiemens/cm.

4.2.4 Gráfica de dispersión y línea de tendencia de la conductividad eléctrica en la solución del suelo

Los gráficos de dispersión y línea de tendencia presentados en la Figura 6 para la conductividad eléctrica en suelo fertilizado con materiales orgánicos e inoculado con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* con el respectivo control. Se observó que, en el control, el cual no se aplicó inoculo del microorganismo, se presentó una respuesta logarítmica R^2 de 0.77, en el cual, para la primera semana se encontraba una concentración de sales solubles de 1.16 mS cm^{-1} y 0.32 mS cm^{-1} para la octava semana en el muestreo final, esto se debe a que se aplicaba y extraía solución del suelo. Para los tratamientos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* las respuestas logarítmicas fueron similares con un valor de 0.54 y 0.69 de R^2 respectivamente, donde se sitúa en un rango moderado de ajuste de la regresión. En la primera semana se obtuvo un valor de 1.17 mS cm^{-1} para *Pseudomonas* y 1.59 mS cm^{-1} para *Bacillus* con respecto a la semana 8 que se obtuvieron valores 0.37 mS cm^{-1} y 0.35 mS cm^{-1} respectivamente. Estos valores de conductividad eléctrica son

más bajos en las últimas semanas del muestreo, esto explica que la salinidad no fue un factor que afectara los procesos de solubilización de nutrientes como lo reporta Sáenz *et al.*, (2016) donde habla que los géneros de bacterias que producen osmolitos mantienen un equilibrio en el transporte de fluidos evitando que las sales se transloquen a las hojas y evitan un estrés hídrico en la planta en hábitats salinos, como *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Rhizobium*.

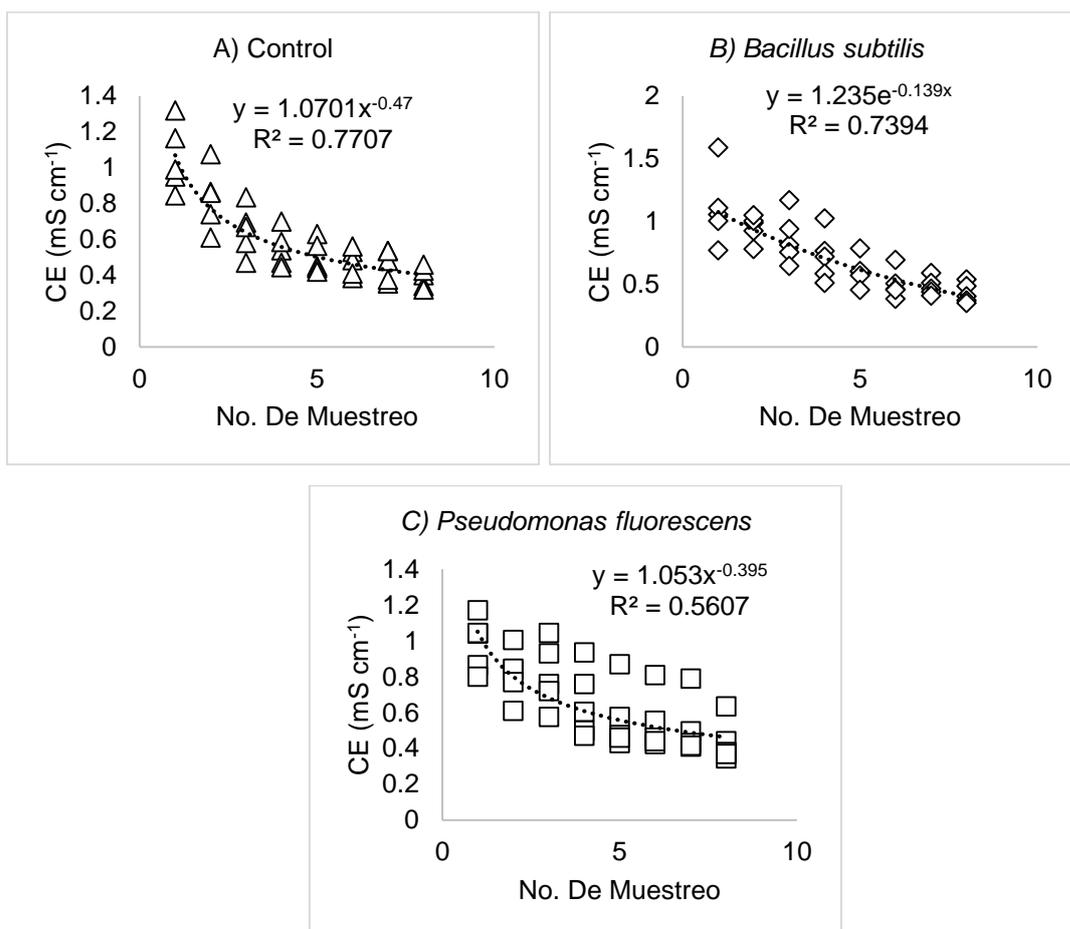


Figura 6. Gráfica de dispersión y línea de tendencia de la conductividad eléctrica en la solución del suelo: A) Control, B) *Bacillus subtilis* y C) *Pseudomonas fluorescens*.

4.2.5 Contenido de potasio en la solución del suelo por efecto de la interacción microorganismo x material orgánico

El potasio es uno de los elementos esenciales para los cultivos. Los suelos contienen alrededor de 0.04 a 3 % de potasio (Meena *et al.*, 2014). En el presente experimento no se encontraron diferencias estadísticamente

significativas en los tratamientos para este elemento. Samaniego Vivanco *et al.* (2018), reportan que el potasio es retenido por los constituyentes del suelo, pero sólo una parte es soluble y otra gran fracción se fija quedando no intercambiable. En el muestreo 1 y 2 (Figura 7), se mostró una cantidad más alta en el contenido de potasio en la solución del suelo esto se debe a que en estos muestreos estaba concentrada la mayor cantidad de potasio. Para los muestreos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se mostró un decremento en el contenido de potasio esto debido a procesos de lixiviación (Ahmad y Zargar, 2017; Velasco *et al.* 2020) y la inmovilización causada por las bacterias en los diferentes tratamientos.

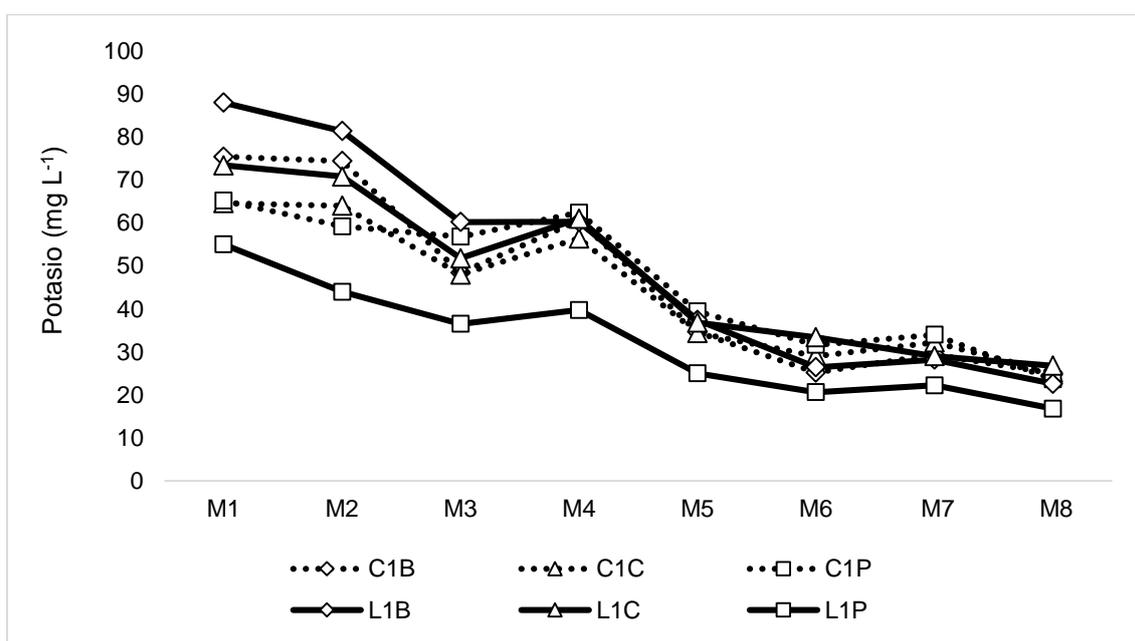


Figura 7. Contenido de potasio en la solución del suelo de los materiales orgánicos por efecto de la inoculación con *P. fluorescens* y *B. subtilis* expresado microSiemens/cm.

4.2.6 Gráfica de dispersión y línea de tendencia del potasio en la solución del suelo

En los gráficos de dispersión y líneas de tendencia presentados en la Figura 8, para el potasio en suelo fertilizado con materiales orgánicos e inoculado con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* con el respectivo control. Se observó que en el control al cual no se aplicó inoculo del microorganismo, se presentó una respuesta logarítmica con un R^2 de 0.48, en el cual, para la primera

semana se encontraba una concentración de potasio de 97 mg L⁻¹ y 34.5 mg L⁻¹ para la octava semana en el muestreo final, esto debido a la extracción de la solución del suelo. Para los tratamientos inoculados con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* las respuestas logarítmicas fueron similares con un valor de 0.60 y 0.73 de R² respectivamente donde se sitúa en un rango moderado y alto de ajuste de la regresión. En la primera semana se obtuvo un valor de 92 mg L⁻¹ para *Pseudomonas* y 120 mg L⁻¹ para *Bacillus* con respecto a la semana 8 que se obtuvieron valores 20 mg L⁻¹ y 28.5 mg L⁻¹ respectivamente. Estos modelos nos explican como una técnica estadística para calcular dichas similitudes entre variables en forma de función matemática (Granados, 2016).

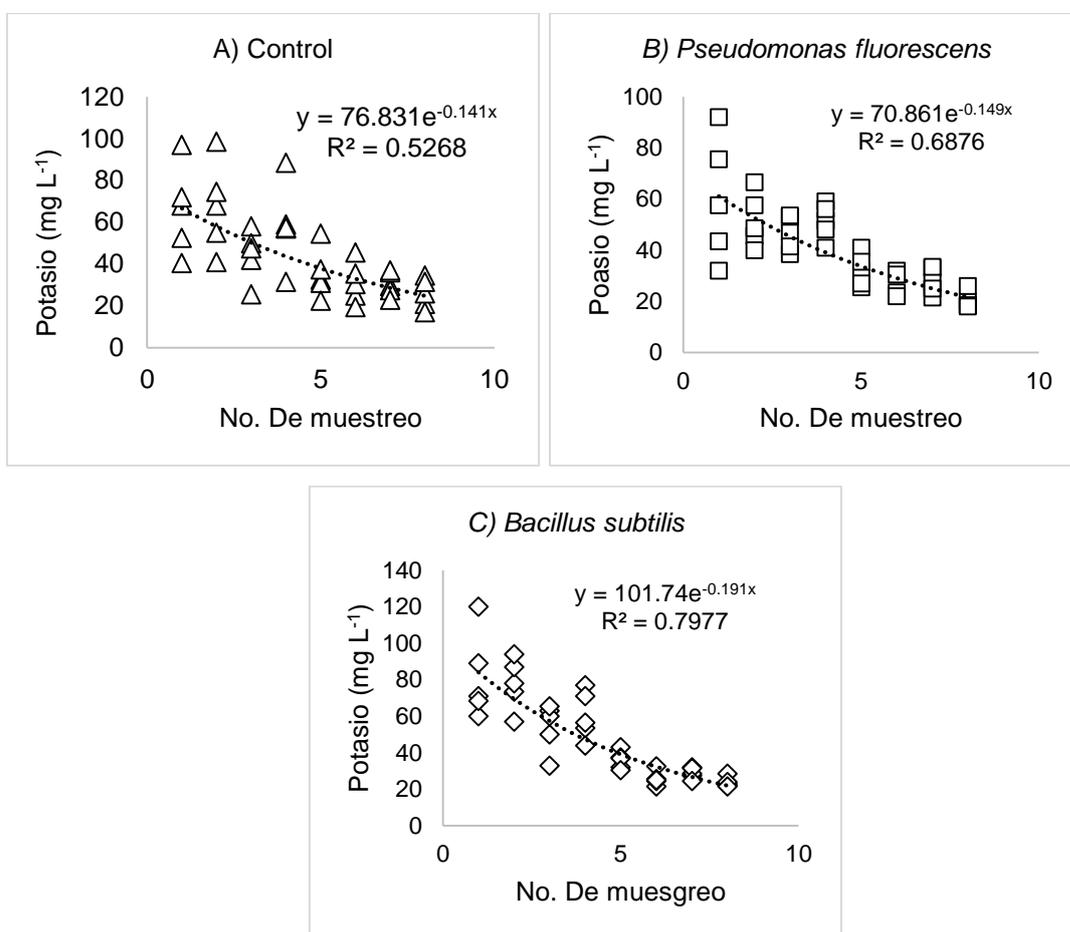


Figura 8. Gráfica de dispersión y línea de tendencia del contenido de potasio en la solución del suelo: A) Control, B) *Pseudomonas fluorescens* y C) *Bacillus subtilis*.

4.2.7 Contenido de sodio en la solución del suelo por la interacción microorganismo x material orgánico

Los suelos que se ven afectados por sales principalmente se caracterizan por el exceso de sales solubles como lo es el sodio (Na^+) en el estado de la solución del suelo (Qadir *et al.*, 2007; Andrade y Gutiérrez, 2020), así como la capacidad intercambiable sódica. En el contenido de sodio en la solución del suelo se encontraron diferencias significativas en los tratamientos del factor material orgánico (composta y lombricomposta) en el muestreo 1 se encontró (Figura 9) la mayor concentración de sodio para la composta y lombricomposta con un valor de 21.26 mg L^{-1} y 13.7 mg L^{-1} respectivamente con una diferencia de 7.56 mg L^{-1} entre los materiales orgánicos, los resultados coinciden con lo reportado por Vázquez y Loli (2018) donde los valores menores en la concentración de sales solubles Na^+ puede ser causado por cómo se realizó el proceso de la lombricomposta, que en un mayor tiempo esto derive a que los procesos de mineralización van a ser mayores y por ende la cantidad de materia orgánica es menor, para el muestreo 8 disminuyó considerablemente la concentración de sodio en la solución del suelo con valores de 8.4 mg L^{-1} para la composta y 4 mg L^{-1} para la lombricomposta. Esta disminución en el sodio se puede deber a la aplicación de agua y a la extracción de la solución del suelo, realizándose un proceso de lixiviación en el suelo (Fornes *et al.*, 2012). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el factor microorganismo, esto debido a variaciones en la humedad y la temperatura.

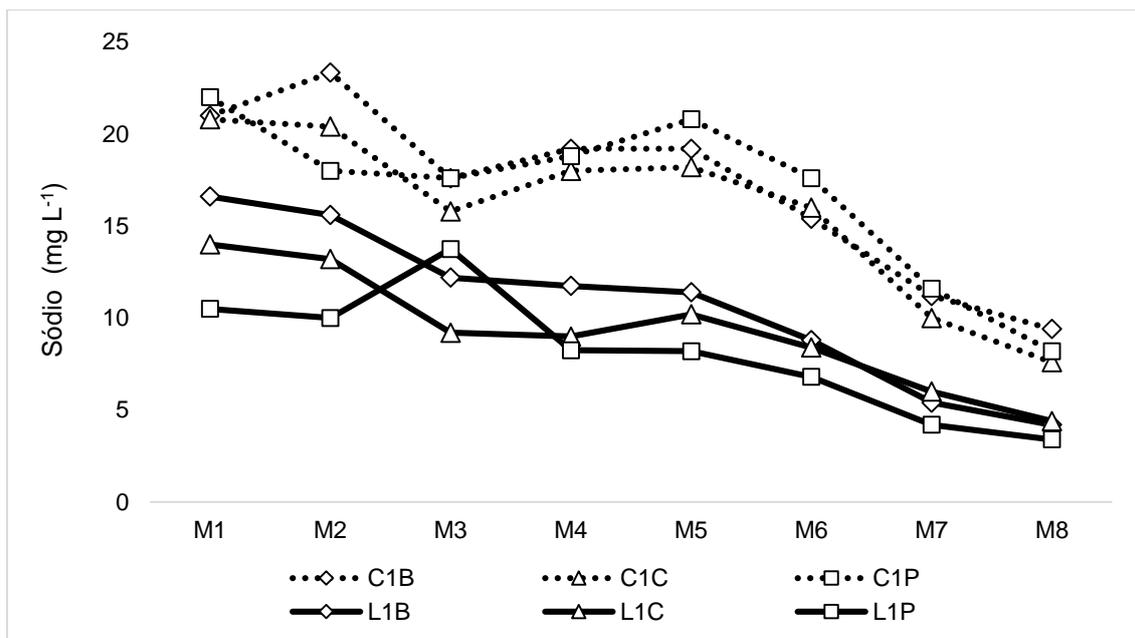


Figura 9. Contenido de sodio en la solución del suelo de los materiales orgánicos por efecto de la inoculación con *P. fluorescens* y *B. subtilis* expresado en mg L^{-1} .

4.2.8 Solubilización de fosfatos en la solución del suelo en el factor material orgánico

En la actualidad, la mayor parte de los fertilizantes de fósforo que se utilizan en la agricultura son producidos a partir de la roca fosfórica, el cual es un material no renovable y se prevé que se agote entre los próximos 50 a 100 años (Hawkesford *et al.*, 2012). Por lo anterior, aquellos factores que incrementen la eficiencia de la fertilización de fósforo serán clave para mantener la productividad de los cultivos. En el presente experimento se encontraron diferencias significativas para los factores material orgánico, bacteria y su interacción (Figura 10). En el factor material orgánico, se observaron diferencias significativas en las semanas 5, 6 y 7. En general, se encontró que la lombricomposta tuvo una mayor solubilización de fósforo que la composta. Estos datos coinciden con lo encontrado en la primera etapa de este experimento por lo que se puede considerar que la lombricomposta aporta mayor contenido de fósforo que las compostas en general. Navarro y Navarro. (2013), mencionaron que la relación C:N es uno de los factores que tiene mayor influencia en la mineralización de los materiales orgánicos y conforme esta relación se eleva, se reduce la solubilización. Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran una

tendencia similar, ya que las lombricompostas tienen una relación C:N menor que la composta, por lo que la mayor liberación de fósforo puede explicarse por lo planteado por estos autores, lo que a su vez y coincide con lo reportado por Félix *et al.* (2010), quienes mencionan que las compostas elaboradas con materiales con baja relación C:N favorecerán los procesos de mineralización.

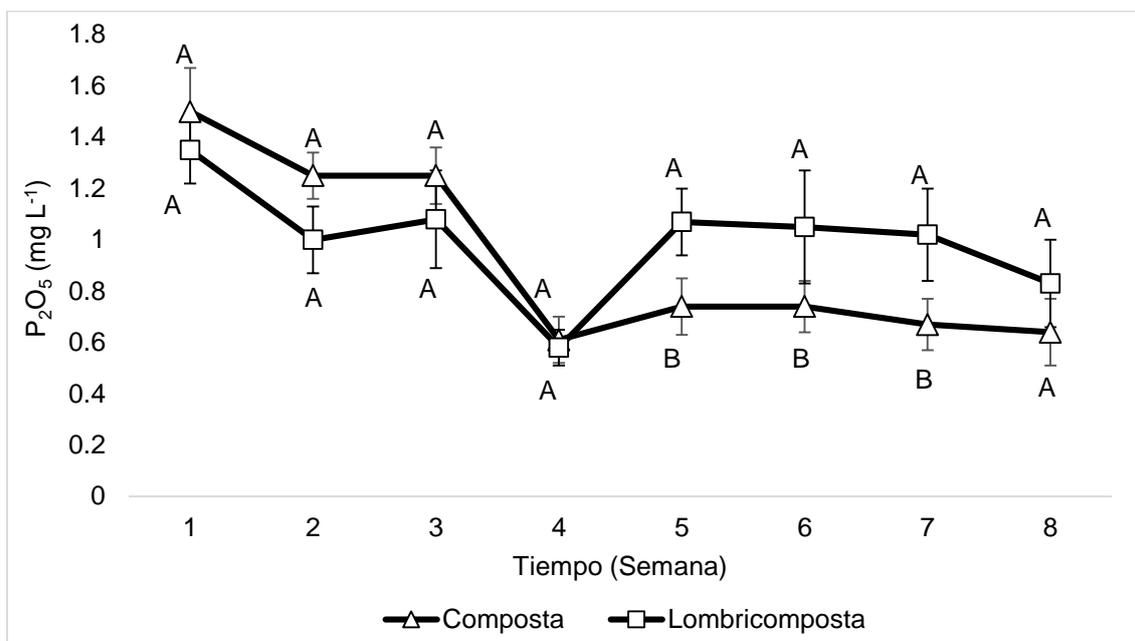


Figura 10. Contenido de fosfatos en la solución del suelo de los materiales orgánicos inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*. * Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

4.2.9 Solubilización de fosfatos en la solución del suelo en el factor microorganismo

Para el factor microorganismo, no se encontraron diferencias significativas durante las primeras 3 semanas del experimento, sin embargo, a partir de la semana 4 se observó en la Figura 11 que los tratamientos inoculados con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* fueron superiores estadísticamente al tratamiento control, con lo cual se explica. Un proceso de fijación momentánea por parte de los microorganismos y posteriormente (A partir del cuarto muestreo) comienza el proceso de solubilización. Navarro y Navarro. (2013), mencionaron que un alto contenido de C de los materiales orgánicos puede provocar una inmovilización momentánea de nutrientes, especialmente para el nitrógeno, lo cual, parece coincidir con lo encontrado para el fósforo. El mayor contenido de

fósforo disponible en los materiales inoculados se puede explicar por un proceso de mineralización a partir de materiales orgánicos o compuestos de fósforo no disponibles (fosfato bicálcico, tricálcico o rocas fosfóricas), causado por los ácidos orgánicos producidos por las bacterias (Fernández y Rodríguez, 2005; Beltrán, 2014).

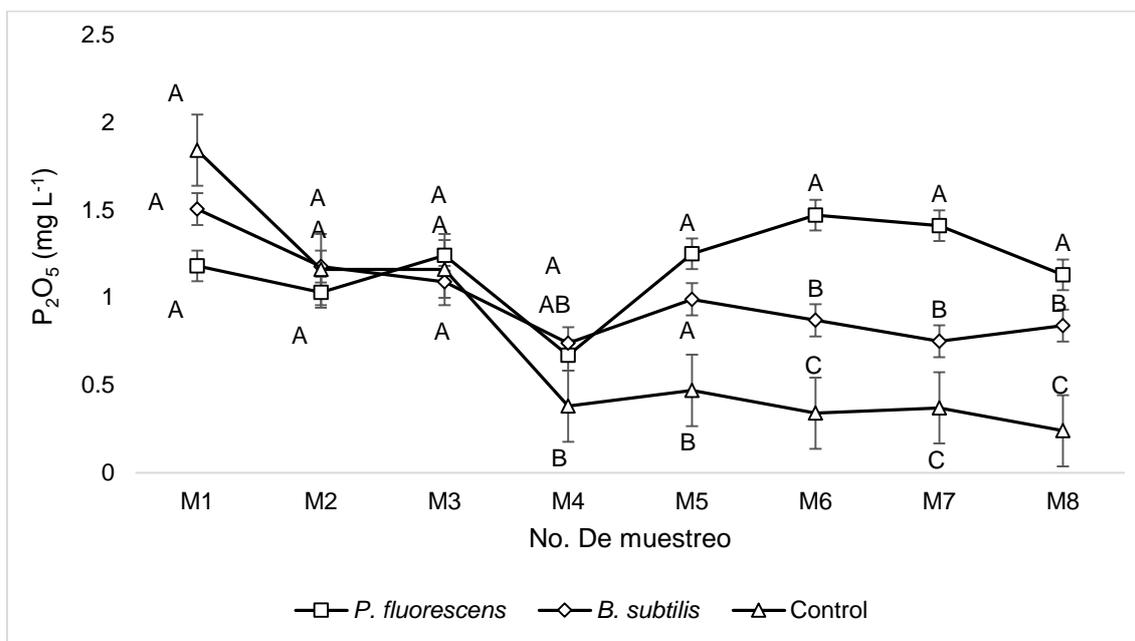


Figura 11. Contenido de fosfatos en la solución del suelo por efecto de la inoculación con *P. fluorescens* y *B. subtilis* expresado en (mg L⁻¹) de pentóxido de fósforo. Letras distintas indican diferencia significativa entre los tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

4.2.10 Solubilización de fosfatos en la solución del suelo por la interacción microorganismo x material orgánico

En la Figura 12, se presentan los resultados para la interacción material orgánico por microorganismo. Se encontraron diferencias en los muestreos 5, 6, 7 y 8, en los cuales, se observó que la lombricomposta inoculada con *Pseudomonas fluorescens* fue superior al resto de los tratamientos en los muestreos 6 y 7, mientras que en los muestreos 4 y 8 los tratamientos con microorganismo se comportaron similares. En general, la tendencia se observa que los materiales orgánicos inoculados con *Pseudomonas fluorescens* fueron superiores, seguidos por *Bacillus subtilis* y finalmente los materiales sin inóculo. Patiño y Reyes. (2014), mencionan que la concentración de fósforo soluble en el suelo se

encuentra comúnmente entre los 0.01 a 0.1 mg L⁻¹, lo cual coincide con los resultados obtenidos en los controles del presente proyecto, sin embargo, no es así para el contenido de los materiales inoculados, en los cuales las concentraciones varían entre 0.8 a 2 mg L⁻¹. Estos resultados sugieren que las bacterias están incrementando el contenido de fósforo soluble en los suelos que se inocularon. Lukashe *et al.* (2019), mencionaron que la inoculación de *Pseudomonas fluorescens* en lombricomposta incremento el fósforo extraído con Olsen, lo cual es similar a lo encontrado en el presente trabajo.

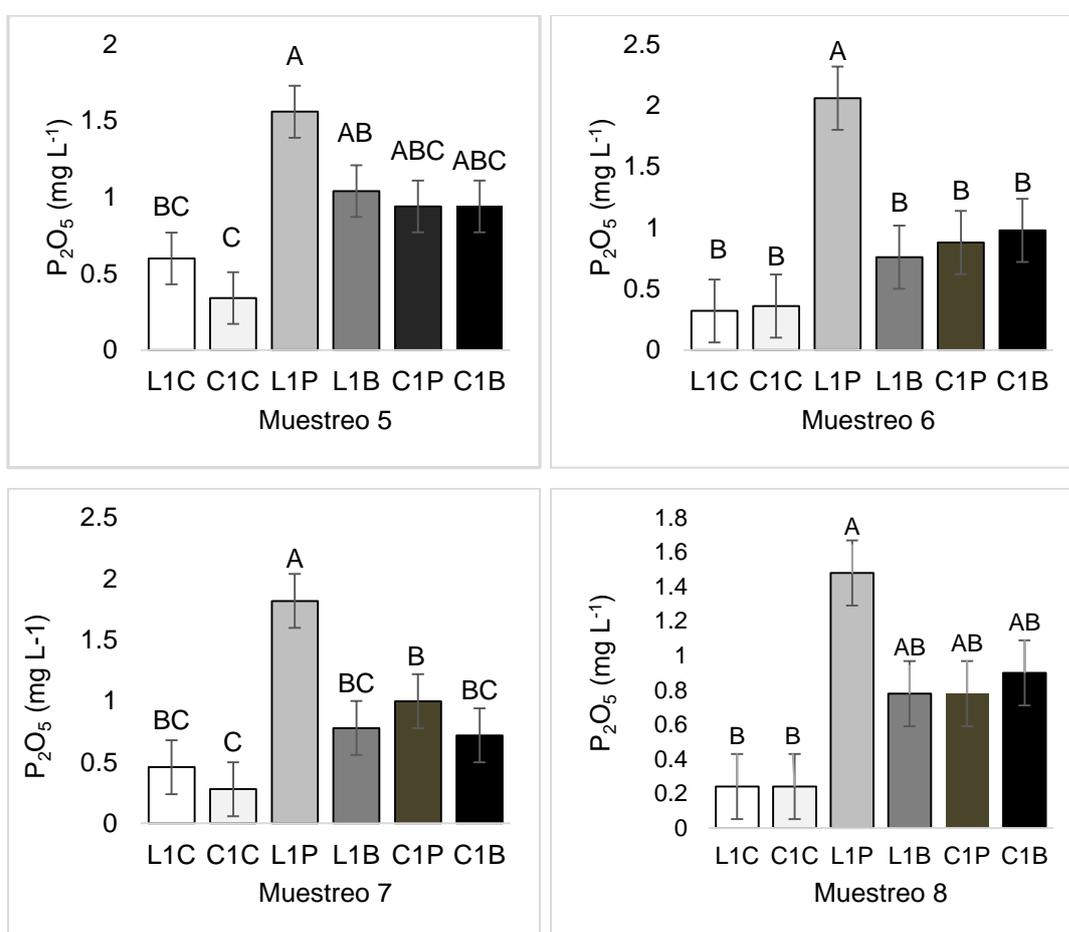


Figura 12. Tendencia en la solubilización de fosfatos en los materiales orgánicos inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$)

C1C: Composta sin inóculo, C1P: Composta inoculada con *Pseudomonas fluorescens*, C1B: Composta inoculada con *Bacillus subtilis*, L1C: lombricomposta sin inóculo, L1P: lombricomposta inoculada con *Pseudomonas fluorescens* y L1B: lombricomposta inoculada con *Bacillus subtilis*.

4.2.11 Gráfica de dispersión y línea de tendencia de la solubilización de fosfatos en la solución del suelo

Una regresión estadística tiene por objetivo modelar en forma matemática el comportamiento de una variable en respuesta a una o más variables independientes (Gutiérrez y Vara, 2012). Bünemann. (2015), mencionó que es necesario continuar realizando modelos que permitan conocer los procesos de solubilización de fósforo y que estos sean publicados para su discusión. En la Figura 13, se presentan los gráficos de dispersión y línea de tendencia para la solubilización de fósforo en suelo fertilizado con materia orgánica e inoculada con *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* y un control. Se observó que cuando se aplicó el material orgánico al suelo sin microorganismo, se presentó una línea de tendencia logarítmica con un R^2 de 0.73, en el cual, la solubilización se encontraba en 1.6 ppm durante la primera semana y se redujo hasta 0.2 ppm en la semana 8, mientras que. Para los suelos inoculados con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* se modificó la línea de tendencia, lo cual indica un efecto de las bacterias en la solubilización de fósforo. Sin embargo, Laguna (2014), menciona que la interpretación del coeficiente de regresión depende de la aplicación. En el estudio se observaron ajustes moderados en el cual se considera que valores menores a 0.30 indica una correlación baja y valores que oscilen entre 0.30 a 0.70 se considera una correlación moderada de los modelos matemáticos a las líneas de tendencia, por lo que los valores de R^2 fueron moderados. Esto se debe a la variabilidad de los resultados e indica que es necesario continuar con las investigaciones para realizar ajustes más precisos.

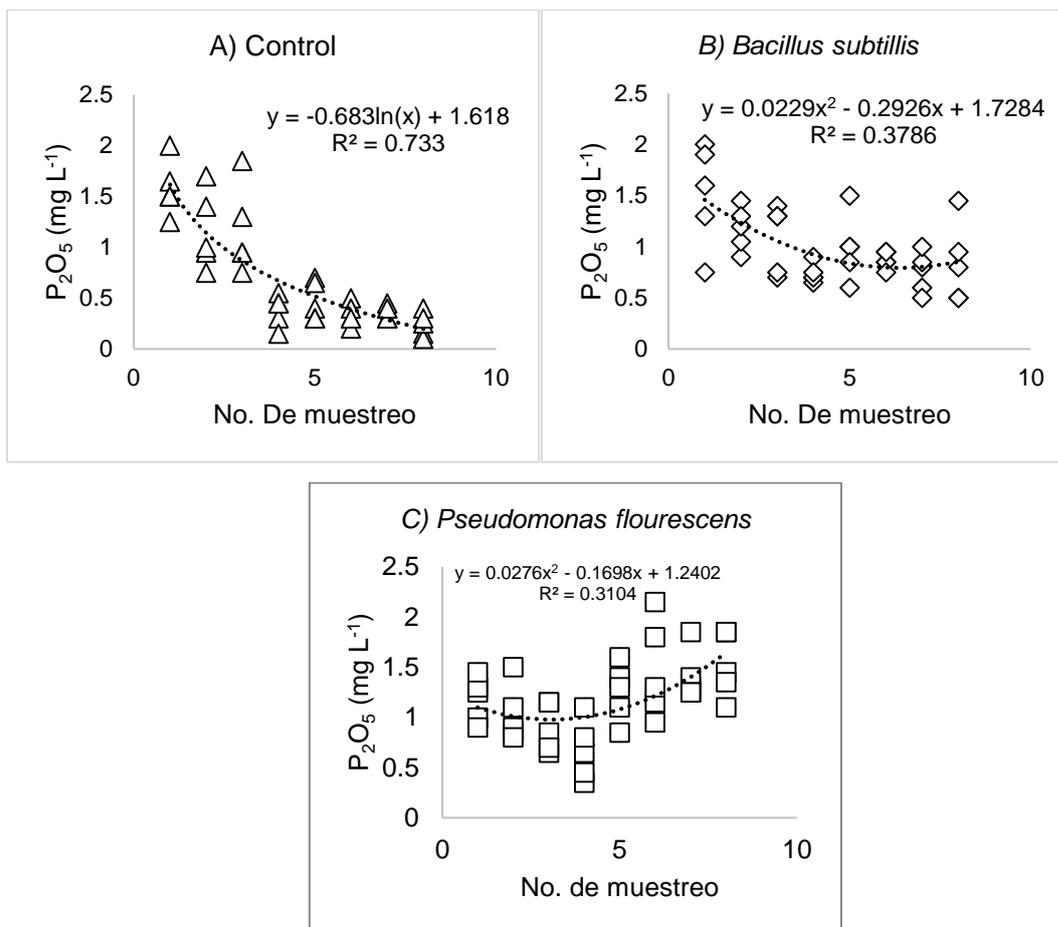


Figura 13. A) Gráfica de dispersión y línea de tendencia del fósforo en la solución del suelo: A) Control, B) *Bacillus subtilis* y C) *Pseudomonas fluorescens*.

4.3 Tercera fase del experimento bajo condiciones de campo.

En lo que refiere a producción, en la tercera fase experimental no se encontraron diferencias significativas en los factores microorganismo, material orgánico y la interacción en las variables del número de vainas, peso fresco y peso seco de vaina como se muestra en el Cuadro 4. Debido a que las condiciones ambientales en el ciclo final del cultivo frenaron la producción de vainas en las plantas a causa de las heladas. En el factor material orgánico de las variables SPAD, área foliar total de la planta, peso fresco de la parte aérea, peso seco de raíz, peso seco de la parte aérea y la biomasa seca total, solo se encontró diferencia significativa en el tratamiento (N4) fertilización química donde fue el tratamiento más alto en todas las variables superando a los tres niveles de fertilización orgánica. Para el factor microorganismo, de las variables antes mencionadas no se encontraron diferencias significativas en ningún tratamiento debido a la variabilidad ambiental en el ciclo del cultivo.

Cuadro 4. Variables de producción por los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Número de vainas (g)	Peso fresco de vaina (g)	Peso seco de vaina (g)
N4C	5.0 A 0.71 ^{E.E.}	15.17 A 3.47	1.44 A 0.29
N4B	6.40 A 0.75	18.94 A 5.07	1.95 A 0.47
N4P	5.80 A 1.36	19.30 A 5.53	2.15 A 0.64
N3C	6.60 A 0.93	13.79 A 2.10	1.43 A 0.19
N3B	5.60 A 0.75	15.59 A 5.11	1.68 A 0.47
N3P	6.40 A 1.25	13.25 A 1.84	1.40 A 0.25
N2C	5.0 A 0.84	9.92 A 0.95	1.02 A 0.12
N2B	4.60 A 0.81	13.33 A 2.91	1.80 A 0.72
N2P	8.20 A 2.18	11.29 A 2.36	1.22 A 0.26
N1C	6.40 A 0.51	11.07 A 0.98	1.12 A 0.13
N1B	4.20 A 0.58	15.06 A 2.57	1.64 A 0.30
N1P	7.25 A 0.58	12.0 A 1.45	1.26 A 0.11

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. N1, N2 y N3: niveles de fertilización orgánica, N4: fertilización química, P: *Pseudomonas fluorescens*, B: *Bacillus subtilis*, y C: Control.

4.3.1 Índice de contenido relativo de clorofila mediante SPAD

La determinación de clorofila se realizó mediante un medidor portátil (SPAD - 502), de acuerdo con el manual original del equipo (Ling, et al., 2011), la medición precisa y no destructiva de los contenidos de clorofila en las hojas. Se ha utilizado tanto en investigaciones como en agricultura, en diferentes especies de plantas (Ojeda, et al., 2021). En el Cuadro 5 se presentan los resultados del contenido de clorofila por el efecto de diferentes niveles de fertilización inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*, se encontraron diferencias significativas en los muestreos 1, 2, 3, y 4, en los cuales, se observó que los tratamientos fertilizados convencionalmente inoculados con *Bacillus subtilis* (N4B) y el control (N4C) fueron superiores al resto de los tratamientos en los cuatro muestreos, esto debido a que estos tratamientos se fertilizaron

convencionalmente (químico). Esto coincide con lo que reporta Mendoza et al., (1998) que la concentración de clorofila y del contenido nitrógeno total, realizados por metodologías tradicionales en leguminosas, frutales y hortalizas existe una alta correlación con las unidades SPAD utilizando el medidor de clorofila SPAD Minolta (Reeves et al., 1993). En general la tendencia de los tratamientos fertilizados convencionalmente (N4) se comportó similar en los muestreos, en comparación a los diferentes niveles de fertilización orgánica en donde los tratamientos con la dosis más alta de fertilización orgánica (N3) fueron superiores a las fertilizaciones orgánicas N2 y N1. En el factor microorganismo en general *Bacillus subtilis* se adaptó más a las condiciones climáticas y de cultivo obteniendo promedios de Unidades SPAD superiores a *Pseudomonas fluorescens* y el control, pero no estadísticamente significativo. Kamnev, (2008) y Jiménez et al., (2018) mencionan que es importante enfatizar en la relación entre la reproducción y las condiciones de los microorganismos, así como la influencia de los factores ambientales, lo cual coincide con los indicadores ambientales biofísicos de la región, en donde la inoculación de *Bacillus subtilis* obtuvo mejores resultados que *Pseudomonas fluorescens* y el control. La tendencia en los muestreos se comportó con una caída en las unidades SPAD, debido al ciclo fenológico del cultivo, donde el contenido de clorofila en las hojas disminuye, en el cual es mayor cuando se aplica la primera fertilización y consecuentemente disminuye conforme pasa el ciclo del cultivo, debido a procesos fisiológicos y de requerimientos de nutrientes en floración y llenado de vainas.

Cuadro 5. Interacción en el contenido de clorofila expresado en Unidades SPAD por los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Unidades SPAD			
	M1	M2	M3	M4
N4C	51.89 A* 1.36 ^{E.E.}	47.64 A 1.19	41.2 A 1.19	40.88 AB 1.21
N4B	51.63 A 1.01	45.99 AB 1.21	39.55 AB 1.98	43.35 A 1.51
N4P	51.07 AB 1.4	45.49 AB 2.62	38.72 AB 2.21	39.99 AB 1.01
N3C	47.15 AB 1.23	29.77 CD 1.39	34.69 ABC 1.24	37.19 AB 1.2
N3B	49.75 AB 1.89	35.69 BC 1.3	32.27 ABC 2.12	38.92 AB 1.57
N3P	45.32 B 1.13	27.02 CD 1.87	33.01 ABC 0.9	37.04 AB 1.61
N2C	45.49 B 0.91	25.75 CD 1.52	32.01 ABC 1.78	34.99 B 1.08
N2B	45.55 B 1.91	30.86 CD 2.23	28.97 BC 1.59	39.72 AB 1.59
N2P	47.21 AB 0.49	28.79 CD 3.49	30.52 ABC 1.15	38.17 AB 1.43
N1C	47.15 AB 0.82	30.89 CD 2.97	29.37 BC 2.05	38.91 AB 0.95
N1B	45.75 B 1.31	35.13 BCD 2.91	33.57 ABC 1.39	40.84 AB 2.66
N1P	46.91 AB 0.95	24.17 D 2.21	23.47 C 5.97	42.43 A 1.39

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. N1, N2 y N3: niveles de fertilización orgánica, N4: fertilización química, P: *Pseudomonas fluorescens*, B: *Bacillus subtilis*, y C: Control.

4.3.2 Área foliar total de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo

En el área foliar total de la planta, se encontraron diferencias significativas en todos los tratamientos en los cuales se observó (Cuadro 6) que los tratamientos N4 con inóculo son superiores a los demás tratamientos, el tratamiento N4 inoculado con *Bacillus subtilis* fue superior a los demás tratamientos con un promedio total de 517.59 cm² esto se debe a que la adición de fertilizante químico a la planta tienen una mayor disponibilidad de nutrientes a esto agregándole el factor microorganismo y sus procesos metabólicos como lo reportado por Espinosa *et al.*, (2017) que indica que la adición de microorganismo en los cultivos es favorable aplicando bioinsumos a base de microbiología

benéfica mezclado con abonos orgánicos como la composta y lombricomposta. El tratamiento N3P reportó un mejor resultado en lo que refiere a el área foliar con fertilización orgánica, fue estadísticamente igual a los tratamientos (N3B, N3C y N1B) con un promedio de 327.35 cm² de área foliar total comparado con el tratamiento N2B que reportó la cifra más baja en área foliar total de la planta con un promedio 193.26 cm².

Cuadro 6. Interacción en el área foliar total de la planta expresado en (cm²) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Área Foliar Total de la Planta (cm ²)	Error experimental
N4C	388.13 ABC	57.41 ^{E.E.}
N4B	517.59 A	56.45
N4P	435.44 AB	42.32
N3C	263.53 BCD	24.24
N3B	268.55 BCD	16.56
N3P	327.35 BCD	44.09
N2C	234.44 CD	16.5
N2B	193.26 D	23.88
N2P	234.45 CD	21.99
N1C	224.52 CD	19.86
N1B	259.91 BCD	49.46
N1P	258.09 CD	22.93

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. N1, N2 y N3: niveles de fertilización orgánica, N4: fertilización química, P: *Pseudomonas fluorescens*, B: *Bacillus subtilis*, y C: Control.

4.3.3 Peso fresco de la parte aérea de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo

En referente al peso fresco de la parte aérea (Tallo y hojas) se encontraron diferencias significativas en los tratamientos, el tratamiento fertilizado convencionalmente inoculado con *Bacillus subtilis* (N4B) fue superior al resto de los tratamientos (Cuadro 7), con un peso seco promedio de 27.2 gramos. Los tratamientos N4C y N4P control e inóculo con *Pseudomonas fluorescens* respectivamente presentaron valores similares en el peso con un valor promedio de 25 gramos de biomasa. Los tratamientos fertilizados convencionalmente obtuvieron los valores más altos, esto debido a que se fertilizaron químicamente y se inocularon con los microorganismos. Como lo menciona Gómez Merino *et al.*, (2013) y Acevedo-Alcalá *et al.*, (2020) una fertilización química incrementa el

contenido de clorofila en las hojas, este proceso provoca que el área foliar contenga más contenido de N y a su vez sintetiza una mayor cantidad de clorofila aumentando la acumulación de biomasa. El tratamiento N3P con el nivel de fertilización orgánico más alto inoculado con *Pseudomonas fluorescens* fue superior a los demás tratamientos con un peso de 16.8 gramos, esto debido a que se aplicó una cantidad más alta de material orgánico, esto coincide con lo reportado por Vázquez (2015) donde indica que al aplicar una cantidad más alta de composta (6 ton/ha) incrementa considerablemente la biomasa de la planta. Seguido de los tratamientos (N3B, N1B, N3C, N2P, N1P, N2B, N2C, y N1C) que se comportaron similar no encontrando diferencias significativas en la acumulación de biomasa fresca de la parte aérea con un peso promedio de 12.81 gramos.

Cuadro 7. Interacción en el peso fresco de la parte aérea de la planta expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Peso Fresco de la Parte Aérea de la planta (g)	Error experimental
N4C	25 AB	3.15 ^{E.E.}
N4B	27.2 A	3.04
N4P	25 AB	2.28
N3C	13.4 C	1.29
N3B	15.2 C	1.11
N3P	16.8 BC	2.31
N2C	11 C	0.95
N2B	12.2 C	0.97
N2P	13 C	1.82
N1C	10.4 C	0.68
N1B	14.6 C	2.23
N1P	12.75 C	1.88

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. N1, N2 y N3: niveles de fertilización orgánica, N4: fertilización química, P: *Pseudomonas fluorescens*, B: *Bacillus subtilis*, y C: Control.

4.3.4 Peso seco de la raíz por la interacción de la fertilización x factor microorganismo

En el peso seco de la raíz por el efecto de diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculado con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, el tratamiento fertilizado convencionalmente inoculado con *Pseudomonas fluorescens* (N4P)

fue superior al resto de los tratamientos (Cuadro 8), con un peso seco promedio de 1.35 gramos. como lo reporta Sotelo *et al.*, (2012) esto se debe a que la fertilización química contiene nutrientes con más alta disponibilidad con una mayor eficiencia productiva de biomasa radicular. Chaparro *et al.*, (2012) menciona que el género *Pseudomonas* producen efectos significativos en las plantas, como una germinación más rápida, mayor crecimiento radicular, producción de hormonas de crecimiento y solubilización de nutrientes como el fosforo. Esto coincide con lo encontrado en el presente trabajo. Posteriormente en los tratamientos (N4C, N1B, N4B, N3C, N2P, N2B, N3B, N3P, N1C y N2C), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos mencionados anteriormente, esto indica que entre los tratamientos fertilizados orgánicamente no existe una diferencia muy extensa en comparación con el tratamiento control (N4C) fertilizado convencionalmente. El tratamiento (N1P) fue el tratamiento que reporto los valores más bajos de peso seco de raíz debido a que se aplicó la cantidad más baja de material orgánico y como causa una menor asimilación de nutrientes que desarrolla el sistema radicular de la planta.

Cuadro 8. Interacción en el peso seco de la raíz expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Peso Seco de la Raíz (g)	Error experimental
N4C	1.26 AB	0.14 ^{E.E.}
N4B	1.09 AB	0.15
N4P	1.35 A	0.13
N3C	0.97 AB	0.19
N3B	0.92 AB	0.04
N3P	0.88 AB	0.26
N2C	0.71 AB	0.14
N2B	0.94 AB	0.16
N2P	0.96 AB	0.06
N1C	0.74 AB	0.17
N1B	1.14 AB	0.16
N1P	0.6 B	0.07

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. N1, N2 y N3: niveles de fertilización orgánica, N4: fertilización química, P: *Pseudomonas fluorescens*, B: *Bacillus subtilis*, y C: Control.

4.3.5 Peso seco de la parte aérea de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo

En el peso seco de la parte aérea de la planta por el efecto de diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculado con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 9), el tratamiento fertilizado convencionalmente inoculado con *Bacillus subtilis* (N4B) fue superior al resto de los tratamientos con un peso seco promedio de 4.98 gramos. pero estadísticamente no se encontró diferencias en comparación con los tratamientos (N4C, N4P, N3P y N1B) esto indica que entre la fertilización química y orgánica en una dosis más alta (N3) no se encuentra una gran diferencia en cuanto a el área foliar de la planta y agregándole el proceso de mineralización de nutrientes y excreciones que inducen el crecimiento de la planta por parte de las bacterias inoculadas en los tratamientos. En estudios anteriormente realizados indican que mediante la aplicación de biofertilizantes (bacterias y hongos) se ha comprobado, que se puede aumentar la absorción de nutrientes esenciales por las plantas e incrementar el rendimiento en campo (Sangabriel *et al.*, 2010; Quiñones *et al.*, 2012; Quiñones *et al.*, 2014). En los tratamientos (N2P, N1P, N2B, N2C y N1C) se obtuvieron los valores más bajos, muy similares en el peso seco de la parte aérea con un promedio de 2.06 gramos. esto indica que al aplicar dosis más bajas de material orgánico como fertilizante disminuye el área foliar en la planta y afecta el desarrollo de los microorganismos y su eficiencia en la planta.

Cuadro 9. Interacción en el peso seco de la parte aérea de la planta expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Peso Seco de la Parte Aérea de la planta (g)	Error experimental
N4C	4.39 AB	0.56 ^{E.E.}
N4B	4.98 A	0.71
N4P	4.35 ABC	0.42
N3C	2.46 CD	0.42
N3B	2.82 BCD	0.26
N3P	3.12 ABCD	0.43
N2C	1.99 D	0.23
N2B	2.08 D	0.24
N2P	2.22 D	0.29
N1C	1.91 D	0.18
N1B	3.07 ABCD	0.44
N1P	2.12 D	0.23

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. N1, N2 y N3: niveles de fertilización orgánica, N4: fertilización química, P: *Pseudomonas fluorescens*, B: *Bacillus subtilis*, y C: Control.

4.3.6 Biomasa seca total de la planta por la interacción de la fertilización x factor microorganismo

La biomasa total de la planta demostró diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos y los respectivos controles (Cuadro 10). Mediante los datos obtenidos, todos los tratamientos permitieron una mayor biomasa seca total con respecto a los controles. El tratamiento fertilizado convencionalmente inoculado con *Bacillus subtilis* (N4B) obtuvo el mayor resultado con un promedio 8.02 gramos de biomasa seca total. Esto coincide con lo reportado por Quinones *et al.*, (2015), donde describe que plantas que recibieron fertilización química e inoculado con cepas *Bacillus subtilis* presentaron una biomasa superior en comparación a las que no se inoculó el microorganismo. Los tratamientos fertilizados orgánicamente (N1, N2 y N3) fueron superiores a los respectivos controles orgánicos. El microorganismo *Bacillus subtilis* presentó resultados superiores a *Pseudomonas fluorescens*, pero no estadísticamente significativos en el factor microorganismo.

Cuadro 10. Interacción en la biomasa seca total de la planta expresado en (g) por el efecto de los diferentes niveles de fertilización orgánica y química inoculados con *P. fluorescens* y *B. subtilis*.

Tratamiento	Biomasa Seca Total de la planta (g)	Error experimental
N4C	7.09 ABC	0.81 ^{E.E.}
N4B	8.02 A	0.99
N4P	7.85 AB	1.08
N3C	4.86 ABC	0.62
N3B	5.41 ABC	0.62
N3P	5.4 ABC	0.9
N2C	3.73 C	0.35
N2B	4.83 ABC	0.96
N2P	4.4 BC	0.3
N1C	3.77 C	0.34
N1B	5.86 ABC	0.65
N1P	3.98 C	0.3

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), ^{E.E.} error experimental. N1, N2 y N3: niveles de fertilización orgánica, N4: fertilización química, P: *Pseudomonas fluorescens*, B: *Bacillus subtilis*, y C: Control.

V. CONCLUSIONES

La investigación realizada permitió demostrar que, en la evaluación de la solubilización de nutrientes bajo condiciones de incubadora la inoculación de *Pseudomonas fluorescens* incremento el contenido de fósforo disponible con respecto a el tratamiento control. En general la combinación de lombricomposta y *Pseudomonas fluorescens* aumento la mayor parte en el contenido disponible de fosforo en el material orgánico. Para el microorganismo *Bacillus subtilis* no se observaron datos concluyentes en la solubilización en condiciones de incubadora.

En la evaluación de la solubilización de nutrientes bajo condiciones de vivero, la inoculación de *Pseudomonas fluorescens* incremento la tendencia de solubilización a lo largo de los muestreos el contenido de fósforo disponible en la solución del suelo con respecto a los tratamientos control. El tratamiento lombricomposta con inoculación de *Pseudomonas fluorescens* aumentó la mayor cantidad de fósforo disponible en la solución del suelo. Para el microorganismo *Bacillus subtilis* no se observó una tendencia clara en el incremento en la solubilización en condiciones de vivero.

En la evaluación de la solubilización de nutrientes bajo condiciones de campo, la inoculación de *Bacillus subtilis* en combinación con la fertilización química demostró una tendencia a trabajar mejor en el cultivo de frijol donde aumento el contenido de clorofila en las hojas, el área foliar total, el peso fresco y peso seco de la parte aérea y en general la biomasa seca total de la planta. Para el microorganismo *Pseudomonas fluorescens* aumento el peso seco de raíz demostrando una mejor interacción microorganismo-raíz para este microorganismo.

En general la adaptabilidad del microorganismo *Pseudomonas fluorescens* en condiciones óptimas de temperatura y humedad genera buenos resultados en la solubilización en los materiales orgánicos. En cambio, el microorganismo *Bacillus subtilis* demostró que se adapta mejor a condiciones de campo en el cultivo de frijol, bajo los umbrales de temperatura y humedad para esta región.

Las interacciones del factor microorganismo y factor material orgánico pueden ser una alternativa para mejorar las condiciones de los cultivos en la región y

contribuir a utilizar materiales orgánicos inoculados con microorganismos benéficos como una estrategia de fertilización orgánica y combinada con la fertilización convencional.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo-Alcalá, P., J. Cruz-Hernández y O. Taboada-Gaytán.** 2020. Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Revista fitotecnia mexicana* 43(1):35-44.
- Adsule, R., S. Deshpande y S. Sathe.** 2004. Tratado de Ciencia y Tecnología de las Hortalizas. Ed. Acribia, S.A. México D.F. 739 p.
- Ahemad, M. and M. Khan.** 2014. Functional aspects of plant growth promoting rhizobacteria: recent advancements. *Insight Microbiol* 1(3):39-54.
- Ahmad, M. and M. Zargar.** 2017. Characterization of potassium solubilizing bacteria (KSB) in rhizospheric soils of apple (*Malus domestica Borkh.*) in temperate Kashmir. *Journal of Applied Life Sciences International*: 1-7.
- Almeida, M.** 2020. *Bacillus subtilis* y su utilización en la biotecnología. Universidad de Matanzas –Vía Blanca Km.3, Matanzas, ISBN: 978-959-16-4472-5: p.18.
- Álvarez-García, J., G. Santoyo y M. del Carmen Rocha-Granados.** 2020. *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 16(1): 01-10.
- Andrade Foronda, D. y E. Gutiérrez Rodríguez.** 2020. Estimación del Porcentaje de Sodio Intercambiable en función de la Relación de Adsorción de Sodio para suelos afectados por sales en el Valle Alto de Cochabamba. *Revista de Agricultura (Bolivia)* (62):31-36.
- Andreote, F., T. Gumiére and A. Durrer.** 2014. Exploring interactions of plant microbiomes. *Scientia Agrícola* 71(6): 528-539.
- Arias, B.** 2019. Análisis de máxima actividad de fosfatasas y fitasas de una bacteria seleccionada por su capacidad solubilizadora de fósforo. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería: p. 55.
- Barea, J. and A. Richardson.** 2015. Phosphate mobilisation by soil microorganisms. In *Principles of plant-microbe interactions* (pp. 225-234). Springer, Cham.
- Barrera-Violeth, J., E. Cabrales-Herrera y E. Sáenz-Narváez.** 2017. Respuesta del maíz híbrido 4028 a la aplicación de enmiendas orgánicas en un suelo de Córdoba–Colombia. *Orinoquia*, 21(2): 38-45.

- Barreros Chiluisa, E.** 2017. Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (*cavia porcellus*), enriquecido (Bachelor's thesis): p. 79.
- Basurto Peña, F.** 2000. Aspectos etnobotánicos de *Phaseolus coccineus* L. y *Phaseolus polyanthus* Greenman en la sierra Norte de Puebla, México.
- Beltrán, M.** (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 15(1): 101-113.
- Beltrán-Morales, F., A. Nieto-Garibay, J. Murillo-Chollet, F. Ruiz-Espinoza, E. Troyo-Dieiguez, J. Alcala-Jauregui y B. Murillo-Amador.** 2019. Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latinoamericana* 37(4): 371-378.
- Benton, J.** 2012. Plant nutrition and soil fertility manual; second edition. New York. Estados Unidos: 2012 CRC Press Taylor & francis group: 304 pp.
- Bhattacharyya, P. and D. Jha.** 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 28(4): 1327-1350.
- Boudet, A., C. Chinchilla, F. Boicet y G. González.** 2015. Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) var. California Wonder. *Centro Agrícola* 42(4): 5-9.
- Bray, R. and L. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci* (59): 39-45.
- Browne, P., O. Rice, S. Miller, J. Burke, D. Dowling, J. Morrissey and F. O’Gara.** 2009. Superior inorganic phosphate solubilization is linked to phylogeny within the *Pseudomonas fluorescens* complex. *Applied soil ecology* 43(1): 131-138.
- Bünemann, E.** 2015. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus—A review. *Soil Biology and Biochemistry* (89): 82-98.
- Calsina, S.** 2013. Determinantes de la producción orgánica en el departamento de puno: Un enfoque en la producción sin químicos. *Natura@ economía* 1(1): 67-82.
- Cano, M.** 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: *Micorrizas, Trichoderma spp.* y *Pseudomonas spp.* Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 14(2): 15 - 31.

- Castillo, A., Y. De la Cruz Elizondo, N. González, M. Hernández y D. Rocha.** 2019. Fortalecimiento de la capacidad local para la producción de abonos orgánicos y su comercialización en Las Lomas, Municipio de Coatepec, Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 7(1): 55-59.
- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI).** 2008. Programa Organización Productiva para Mujeres Indígenas. Obtenido de <http://www.cdi.gob.mx/dmdocuments/lombricomposta.pdf>
- Chaparro, J., A. Sheflin, D. Manter and J. Vivanco.** 2012. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility of Soils* 48(5): 489-499.
- Choque, F. y J. Castro.** 2020. Factores de adopción de agricultura orgánica en la región de pura 2020. *Semestre económico* 9(1): 27-59.
- Chuang, C., Y. Kuo, C. Chao and W. Chao.** 2007. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. *Biology and Fertility of Soils* 43(5): 575-584.
- Crespo, H., F. Romero y M. Gonzales.** 2012. "Producción de humus de lombriz en Cuba. Aplicaciones y resultados" en Observatorio de la Economía Latinoamericana: pp. 169.
- Deza, N., S. Medina y C. Reyes.** 2012. Eficacia de la cepa nativa de *Bacillus subtilis* como agente supresor del nematodo del nudo *Meloidogyne spp.* en cultivo de *Capsicum annuum* (ají pimiento piquillo). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 3(1): 25-40.
- Duarah, I., M. Deka, N. Saikia and H. Deka Boruah.** 2011. Phosphate solubilizers enhance NPK fertilizer use efficiency in rice and legume cultivation. *3 Biotech* 1(4): 227–238.
- Edwardson, W. and P. Santacoloma.** 2013. Organic supply chains for small farmer income generation in developing countries: case studies in India, Thailand, Brazil, Hungary and Africa. FAO.
- Escobar, N., J. Mora y N. Romero.** 2012. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. Boletín Científico. Centro de Museos. *Museo de Historia Natural* 16(1): 75-88.
- Espinosa Palomeque, B., A. Moreno Reséndez, P. Cano Ríos, V. Álvarez Reyna, J. Sáenz Mata, H. Sánchez Galván y G. González Rodríguez.** 2017. Inoculación

de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum L.*) cv. afrodita en invernadero. *Terra Latinoamericana* 35(2): 169-178.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

2018. Suelos sanos para una vida sana. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>

Félix, J., R. Ruiz, H. Rivero, R. Flores, A. Bojórquez, G. Quiroz y V. Portugal. 2010.

Propiedades Físico-químicas y orgánicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica en el libro *Biotecnología aplicada a recursos forestales*, Libro técnico: Serie forestal, ISBN: 875-935-543-2. editado por la Universidad Autónoma Indígena de México-Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, 275-290.

Fernández, M. y H. Rodríguez. 2005. El papel de la solubilización de fósforo en los

biofertilizantes microbianos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 39(3): 27-34.

Fornes, F., D. Mendoza-Hernández, R. García de la Fuente, M. Abad and R. Belda.

2012. Bioresource Technology Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology* (118): 296-305.

Galeana, J. 2016. Caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo nativas de

los suelos de Sinaloa con potencial para incrementar el crecimiento y mejorar la nutrición fosforada del maíz (*Zea mays L.*). Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Sinaloa, *Biotecnología Agrícola*: p. 121.

Galecio-Julca, M., K. León-Huamán y R. Aguilar-Ancota. 2020. Efecto de fuentes

orgánicas y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de banano orgánico (*Musa spp. L.*). *Manglar* 17(4): 301-306.

García-Bernal, M., C. Ojeda-Silvera, D. Batista-Sánchez, F. Abasolo-Pacheco y J.

Mazón-Suástegui. 2020. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) variedad Quivicán a la aplicación de medicamentos homeopáticos. *Terra Latinoamericana* 38(1): 137-147.

Gómez-Merino, F., L. Trejo-Téllez, J. García-Albarado y V. Morales-Ramos. 2013.

Lulo (*Solanum quiroense Lamarck.*) como nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 4(SPE5): 877-887.

- González, M., D. Ríos, K. Peña Rojas, E. García, M. Acevedo, E. Cartes y M. Sánchez Olate.** 2020. Efecto de la concentración de fósforo y calcio sobre atributos morfo-fisiológicos y potencial de crecimiento radical en plantas de *Aextoxicon punctatum* producidas a raíz cubierta en la etapa de endurecimiento. *Bosque (Valdivia)* 41(2): 137-146.
- Granados, R.** 2016. Modelos de regresión lineal múltiple. *Granada, España: Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Granada.*
- Gutiérrez, H. y R. Vara.** 2012. Análisis y diseño de experimentos; *Tercera edición.* CDMX, México: *Mc Graw Hill: 483 pp.*
- Guzmán, B.** 2021. Análisis de la eficiencia de los microorganismos de montaña en el cultivo de repollo (*Brassica oleracea var. capitata*) en la vereda Soagá, finca Los pinos (Ubaté-Cundinamarca). Universidad Santo Tomás: p. 67.
- Halvin, J., S. Tisdale, W. Nelson and J. Beaton.** 2014. Soil fertility and fertilizers. *Pearson; eighth edition.*
- Harrison, A.** 1987. Soil organic phosphorous: a review of world literature (No. BOOK). CAB international.
- Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. Møller and P. White.** 2012. Functions of macronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, (pp. 135-189).
- Herrán, J., R. Flores, A. Bojórquez, G. Quiroz, R. Ruiz, H. Rivero y V. Portugal.** 2010. Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible* 6(1): 105-114.
- Herrera Méndez, M.** 2020. Importancia del Fósforo en el incremento de la producción, en cultivos de ciclo corto (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020): p. 23.
- Higa, T. and G. Wididana.** 1991. The concept and theories of effective microorganisms. In Proceedings of the first international conference on Kyusei nature farming. *US Department of Agriculture, Washington, DC, USA*, (pp. 118-124).
- Hui, L., W. Feng, X. He and Z. Ping.** 2017. Chemical fertilizers could be completely replaced by manure to maintain high maize yield and soil organic carbon (SOC) when SOC reaches a threshold in the Northeast China Plain. *Journal of integrative agriculture* 16(4): 937-946.

- Hurtado, A., Y. Castillo, E. Quintero, Y. Pérez y D. Olivera.** 2018. Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias* 7(1): 88-100.
- Jiménez Gómez, A.** 2020. Estudio metagenómico y culturómico de bacterias asociadas a *Phaseolus vulgaris* y *Brassica napus*, implicaciones funcionales y nutricionales de su aplicación como biofertilizantes en cultivos de interés agroalimentario y bioenergético y evaluación del rol d: p. 310.
- Jiménez-Delgadillo, R., S. Valdés-Rodríguez, V. Olalde-Portugal, R. Abraham-Juárez y J. García-Hernández.** 2018. Efecto del pH y temperatura sobre el crecimiento y actividad antagónica de *Bacillus subtilis* sobre *Rhizoctonia solani*. *Revista mexicana de fitopatología* 36(2): 256-275.
- Kamnev, A.** 2008. FTIR spectroscopic studies of bacterial cellular responses to environmental factors, plant-bacterial interactions and signalling. *Spectroscopy* 22(2-3): 83-95.
- Karwal, M. and A. Kaushik.** 2020. Co-composting and vermicomposting of coal fly-ash with press mud: Changes in nutrients, micro-nutrients and enzyme activities. *Environmental Technology & Innovation*: 100708.
- Laguna, C.** 2014. Correlación y regresión lineal. *Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud* (4): 1-18.
- Larios Barrón, A.** 2021. Producción de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con manejo regenerativo 3M (minerales, materia orgánica y microorganismos) en un suelo de Oaxaca, México. (Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla)., 125.
- Larkin, R.** 2020. Effects of Selected Soil Amendments and Mulch Type on Soil Properties and Productivity in Organic Vegetable Production. *Agronomy* 10(6): 795.
- Leal-Almanza, J., M. Gutiérrez-Coronado, L. Castro-Espinoza, F. Lares-Villa, J. Cortes-Jiménez and S. Santos-Villalobos.** 2018. Vegetable growth promoter microorganisms with agricultural plaster on potatoes (*Solanum tuberosum* L.) Under shadow housing. *Agrociencia* 52(8): 1149-1159.
- Ling, Q., W. Huang and P. Jarvis.** 2011. Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research* 107(2): 209–214.

- Lopéz Falcón, R.** 2002. Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Serie Suelos y Clima SC-75. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela., 280 p.
- Luh, Y., M. Tsai and C. Fang.** 2020. Do first-movers in the organic market stand to gain? Implications for promoting cleaner production alternatives. *Journal of Cleaner Production*: 121156.
- Lukashe, N., H. Mupambwa, E. Green and P. Mnkeni.** 2019. Inoculation of fly ash amended vermicompost with phosphate solubilizing bacteria (*Pseudomonas fluorescens*) and its influence on vermi-degradation, nutrient release and biological activity. *Waste Management (83)*: 14-22.
- Martínez, D., Y. Aparicio, E. Hidalgo, J. Rodríguez, C. Robles y G. Martínez.** 2020. Respuesta de *Coffea arabica L.* a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas 11(6)*: 1285-1298.
- Maughan, H. and G. Van der Auwera.** 2011. *Bacillus* taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading Infection. *Genet Evolut (11)*: 789–797.
- Meenaa, V., B. Mauryaa and J. Vermab.** 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils? *Microbiological Research (171)*: pp. 337-347.
- Mendoza, M., G. González, A. Santelises, J. Barra y J. Rincón.** 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana 16(2)*: 135-141.
- Miller, S., P. Browne, C. Prigent-Combaret, E. Combes-Meynet, J. Morrissey and F. O'Gara.** 2010. Biochemical and genomic comparison of inorganic phosphate solubilization in *Pseudomonas* species. *Environmental microbiology reports 2(3)*: 403-411.
- Mishra, D., S. Rajvir, U. Mishra and S. Kumar.** 2013. Role of bio-fertilizer in organic agriculture: a review. *Research Journal of Recent Sciences ISSN (2277)*: 2502.
- Molina-Romero, D., M. Bustillos-Cristales, O. Rodríguez-Andrade, Y. Morales-García, Y. Santiago-Sáenz, M. Castañeda-Lucio y J. Muñoz-Rojas.** 2015. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas 17(2)*: 24-34.

- Montaño Arias, N., A. Sandoval Pérez, S. Camargo Ricalde y J. Sánchez Yáñez.** 2010. Los microorganismos: pequeños gigantes. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*: 15-23.
- Morales-Barron, B., D. Rivera-Mendoza y J. Peralta-Ayala.** 2021. Los microorganismos benéficos y su simbiosis mutualista con las plantas. Conferencia de la Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas: p. 2.
- Morales-Munguía, J., M. Fernández-Ramírez, A. Montiel-Cota y B. Peralta-Beltrán.** 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *Biotecnia* 11(1): 19-26.
- Navarro, G. y S. Navarro.** 2013. Fertilizantes química acción. Madrid, España.: *Mundi-Prensa Libros*. p 270.
- Navarro, G. y S. Navarro.** 2013. Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Madrid, España: *Mundi-Prensa Libros*.
- Navarro, G. y S. Navarro.** 2014. Fertilizantes química acción. Madrid, España: *Mundi-Prensa Libros*.
- Ngo, P., C. Rumpel, Q. Ngo, M. Alexis, G. Vargas, M. Gil and P. Jouquet.** 2013. Biological and chemical reactivity and phosphorus forms of buffalo manure compost, vermicompost and their mixture with biochar. *Bioresource technology* (148): 401-407.
- Ning, C., P. Gao, B. Wang, W. Lin, N. Jiang and K. Cai.** 2017. Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content. *Journal of Integrative Agriculture* 16(8): 1819-1831.
- Ojeda, W., C. Herrera, R. Batista y I. Delgado.** 2021. Influencia de la fertilización nitrogenada en diferentes etapas de desarrollo del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.). *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* 4(S1): 51-60.
- Olivares Campos, M., A. Hernández Rodríguez, C. Vences Contreras, J. Jáquez Balderrama y D. Ojeda Barrios.** 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia* 28(1): 27-37.
- Otieno, N., R. Lally, S. Kiwanuka, A. Lloyd, D. Ryan, K. Germaine and D. Dowling.** 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in microbiology* (6): 745.

- Palleroni, N.** 2005. Bergey's manual of systematic bacteriology. *Vol 2, Part B. New York: Springer: 323-370.*
- Paredes-Mendoza, M. y D. Espinosa-Victoria.** 2010. Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 28(1): 61-70.
- Patiño Torres, C. y O. Sanclemente Reyes.** 2014. Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Entramado* 10(2): 288-297.
- Pérez Álvarez, S., O. Coto Arbelo, M. Echemendía Pérez y G. Ávila Quezada.** 2015. *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno?: *Pseudomonas fluorescens*, biological control or pathogen?. *Revista de Protección Vegetal* 30(3): 225-234.
- Qadir, M., J. Oster, S. Schubert, A. Noble and K. Sahrawat.** 2007. Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. *Advances in Agronomy* (96): 197-247.
- Quinones, A., B. Martínez-Alcántara y R. Del-Val Buedo.** 2015. Bacterias bioestimulantes del crecimiento y la mejora del estado nutritivo de la planta. *Vida rural* (396): 40-46.
- Rajankar, P. and S. Wate.** 2007. Study of phosphate solubilization efficiencies of fungi and bacteria isolated from saline belt of Purna river basin. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3(6): 701-703.
- Ramírez, L., Z. Galvez y V. Burbano.** 2014. Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova* 12(21): 67-79
- Razaq, M., P. Zhang and H. Shen.** 2017. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. *PloS one* 12(2): e0171321.
- Reeves, W., P. Mask, C. Wood and D. Delay.** 1993. Determination of wheat nitrogen status with a handheld chlorophyll meter. Influence of management practices. *J. Plant Nutr.* (16): 7781-7796.
- Restrepo-Franco, G., S. Marulanda-Moreno, Y. de la Fe-Pérez, A. Díaz-de la Osa, V. Lucia-Baldani y A. Hernández-Rodríguez.** 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.
- Reyes-Matamoros, J., D. Martínez-Moreno, R. Rueda-Luna y T. Rodríguez-Ramírez.** 2014. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*

L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(2): 191-203.

- Rodríguez Castro, J.** 2019. Obtención de composta a base de residuos orgánicos caseros (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
- Román, P., M. Martínez y A. Pantoja.** 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina, 112.
- Romero Batallán, C.** 2010. Aprovechamiento integral de lixiviados. *Universidad de Salamanca, Salamanca*.
- Ros, M., I. Rodríguez, C. García and T. Hernández.** 2010. Microbial communities involved in the bioremediation of an aged recalcitrant hydrocarbon polluted soil by using organic amendments. *Bioresource Technology* 101(18): 6916-6923.
- Rosatto-Moda, L., R. Mello-Prado, L. Castellanos-González, A. Reyes-Hernández, G. Caione and C. Silva-Campos.** 2014. Solubilization of phosphorus sources associated with an organic compound enriched with biofertilizer. *Agrociencia* 48(5): 489-500.
- Roychowdhury, D., M. Paul and S. Kumar Banerjee.** 2015. Isolation identification and characterization of phosphate solubilising bacteria from soil and the production of biofertilizer. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 4(11): 808-815.
- Saenz Mata, J., R. Palacio Rodríguez, H. Sánchez Galván and N. Balagurusamy.** 2016. Plant growth promoting rhizobacteria associated to halophytes: potential applications in agriculture. In *Sabkha Ecosystems* (pp. 411-425). Springer, Cham.
- Saffeullah, P., N. Nabi, S. Liaqat, N. Anjum, T. Siddiqi and S. Umar.** 2021. Organic Agriculture: Principles, Current Status, and Significance. In *Microbiota and Biofertilizers* Springer, Cham., (pp. 17-37).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).** 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Producción de hortalizas. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.com.mx>
- Sagoe, C., T. Ando, K. Kouno and T. Nagaoka.** 1998. Effects of organic-acid treatment of phosphate rocks on the phosphorus availability to Italian ryegrass. *Soil Sci. Plant Nutr.* (43): 1067–1072.

- Salinas Ramírez, N., J. Escalante Estrada, M. Rodríguez González y E. Sosa Montes.** 2012. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero en dos ambientes. *Revista fitotecnia mexicana* 35(4): 317-323.
- Samaniego Vivanco, T.** 2018. Determinación de la capacidad de solubilización de potasio por *Bacillus mucilaginosus*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Departamento Académico de Suelos p. 62.
- Santoyo, G., G. Moreno-Hagelsieb, M. del Carmen Orozco-Mosqueda and B. Glick.** 2016. Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological research* (183): 92-99.
- Segueda, A., G. Correa, J. Blanco y M. Gamino.** 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* (80): 29-37.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).** 2008. "Superficie cosechada y producción de frijol anual en México" Secretaría de Agricultura, Ganadería. Obtenido de Disponible en: <http://www.campomexicano.gob.mx/siacon>
- Silva, L., y L. Díaz.** 2020. Aislamiento y selección de bacterias celulolíticas a partir de compost de residuos orgánicos. *Rebiol* 36(1): 19-28.
- Singh, B. and T. Satyanarayana.** 2012. Production of phytate-hydrolyzing enzymes by thermophilic moulds. *African Journal of Biotechnology* 11(59): 12314-12324.
- Soriano Soto, M.** 2018. Conductividad eléctrica del suelo. Universitat Politècnica de València p. 10.
- Sotelo, I., J. Jiménez, A. De Zan y C. Cueto.** 2012. Efecto de inoculación de microorganismos en crecimiento de rábano (*raphanus sativus*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA* 10(1): 21-31.
- Soto, G.** 2020. El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales* 54(1): 215-226.
- Soto-Mora, E., M. Hernández-Vázquez, H. Luna-Zendejas, E. Ortiz-Ortiz y E. García-Gallegos.** 2016. Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 3(5): 98-102.
- Stevenson, F.** 1967. Organic acids in soil. Marcel Dekker. New York, NY, USA: pp. 119–146. In: A. D. McLaren and G. H. Peterson. (eds). *Soil biochemistry*.
- Su, L., Y. Ta, N. Pei, and Y. Pui.** 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *J. Sci. Food Agric.* (95): 1143-1156.

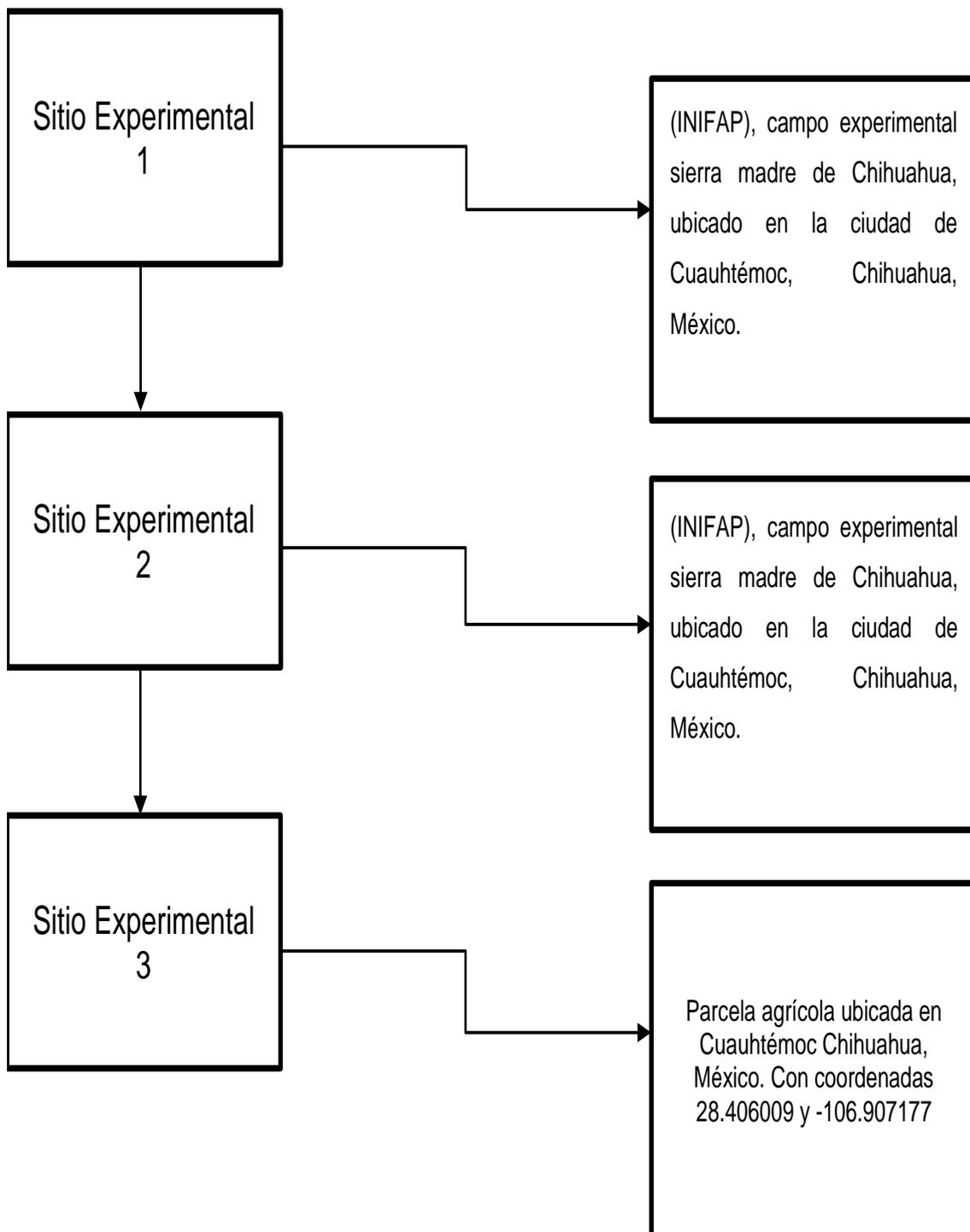
- Ulloa, J., P. Rosas Ulloa, J. Ramírez Ramírez y B. Ulloa Rangel.** 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente* 3(8): 5-9. ISSN 2007-0713.
- Vaarst, M.** 2010. Organic farming as a development strategy: who are interested and who are not?. *Journal of Sustainable Development* 3(1): 38-50.
- Valverde, A., A. Burgos, T. Fiscella, R. Rivas, E. Velazquez, C. Rodríguez-Barrueco and J. Igual.** 2007. Differential effects of coinoculations with *Pseudomonas jessenii* PS06 (a phosphate-solubilizing bacterium) and *Mesorhizobium ciceri* C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field conditions. In First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization, pp. 43-50.
- Vázquez, J. and O. Loli.** 2018. Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria* 9(1): 43-52.
- Vázquez, M., S. César, R. Azcón and J. Barea.** 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Applied Soil Ecology* 15(3): 261-272.
- Vázquez, P., M. López, M. Cortez y D. Hernández.** 2015. Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios* (36): 1351-1356.
- Velasco-Jiménez, A., O. Castellanos-Hernández, G. Acevedo-Hernández, R. Aarland y A. Rodríguez-Sahagún.** 2020. Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana* 38(2): 333-345.
- Wang, Y., Y. Zhu, S. Zhang and Y. Wang.** 2018. What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?. *Journal of cleaner production* (199): 882-890.
- Wei, Y., Y. Zhao, H. Wang, Q. Lu, Z. Cao, H. Cui and Z. Wei.** 2016. An optimized regulating method for composting phosphorus fractions transformation based on biochar addition and phosphate-solubilizing bacteria inoculation. *Bioresource technology* (221): 139-146.
- Wongsaroj, L., R. Chanabun, N. Tunsakul, P. Prombutara, S. Panha and N. Somboonna.** 2021. First reported quantitative microbiota in different livestock

manures used as organic fertilizers in the Northeast of Thailand. *Scientific reports* 11(1): 1-15.

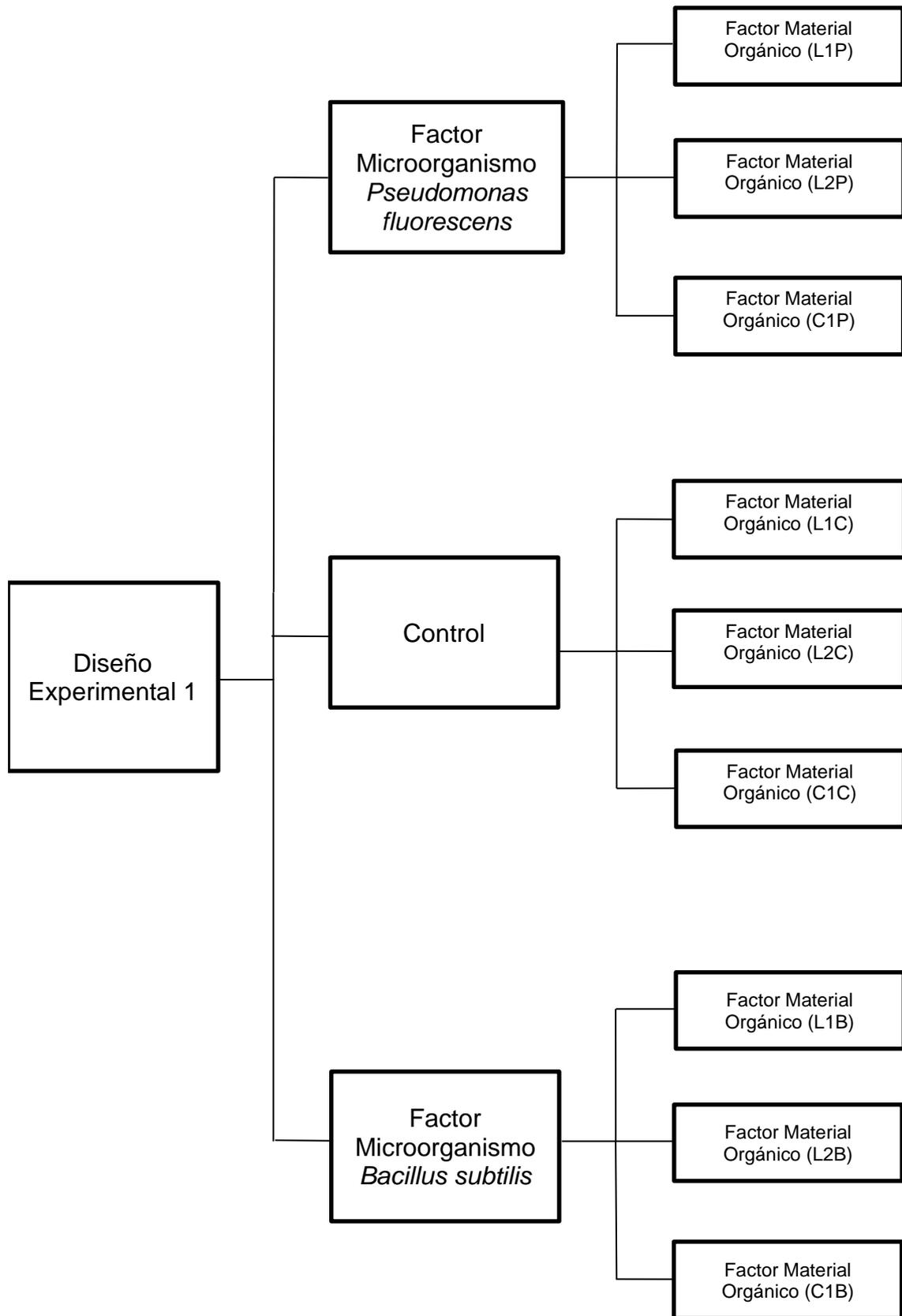
Yvestirilly, C. 2002. Tecnología de Hortalizas. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España: 591 p.

VII. ANEXOS

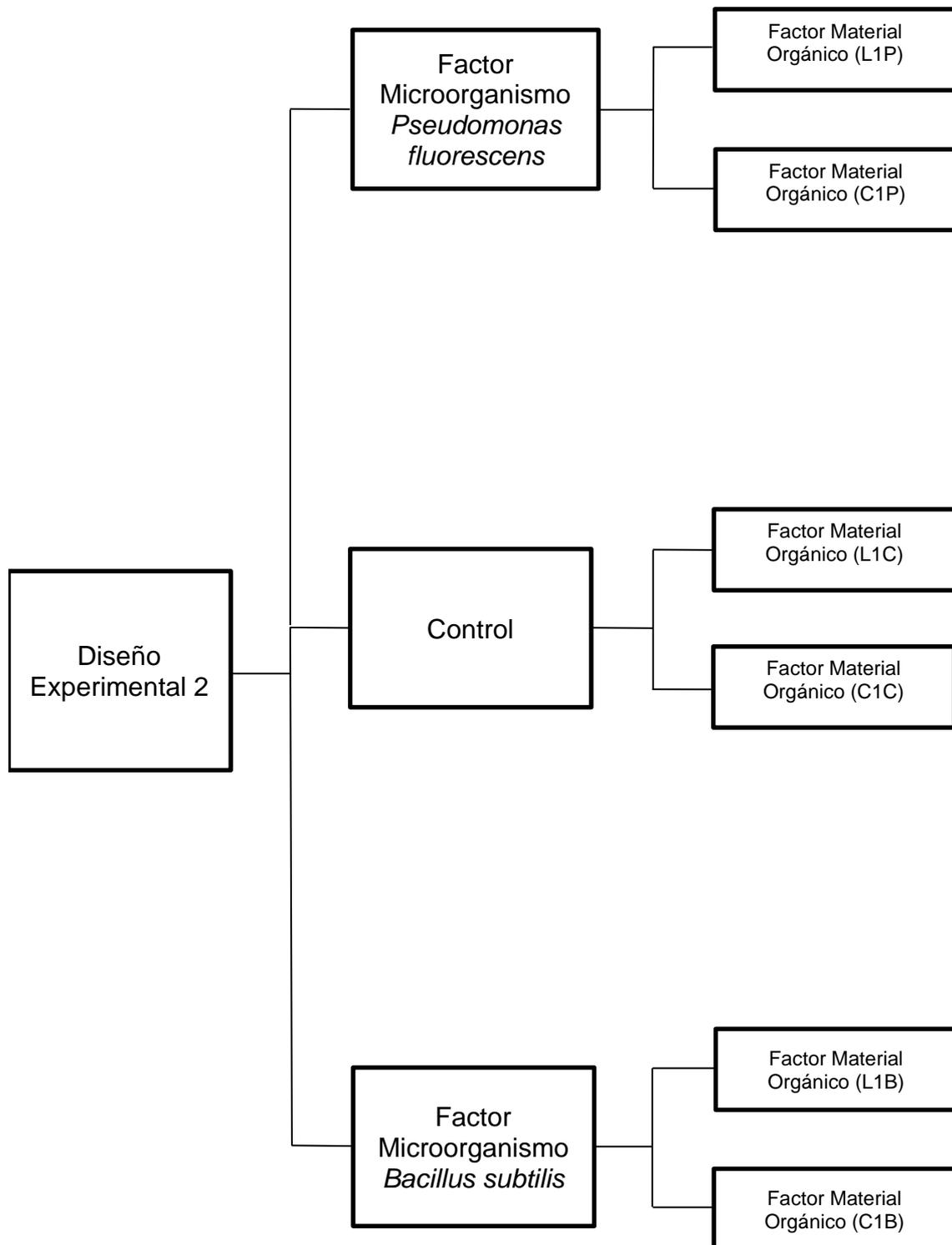
Anexo 1: Diagrama de ubicaciones experimentales.



Anexo 2: Diagrama del diseño experimental 1.



Anexo 3: Diagrama del diseño experimental 2.



Anexo 4: Diagrama del diseño experimental 3.

