



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
DURANGO

INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DEL VALLE DEL GUADIANA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



"Relación del pH y C.E. en la población de BPCV  
(*Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.) en suelos de uso  
agrícola"

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería

Presenta:

Beatriz Betancourt Chaidez

Director de tesis:

Oscar Gilberto Alaniz Villanueva

Co-Director:

Ixchel Abby Ortiz Sánchez

Durango, Dgo. México, diciembre, 2022.





## Relación del pH y C.E. en la población de BPCV (*Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.) en suelos de uso agrícola.

### Presenta:

Ing. Beatriz Betancourt Chaidez.

### COMITÉ TUTORIAL

M.C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva Director	 Firma
Dra. Cs. Ixchel Abby Ortiz Sánchez Codirector	 Firma
Dra. Cs. Carmen Zulema Quiñones Pérez Asesor	 Firma

M.C. Norma Alicia García Vidaña

Coordinadora del programa de la maestría en ingeniería.

M.C. Adriana Eréndira Murillo

Jefa de la División de Estudios de Posgrado e

Durango, Dgo. México  
de 2022

Diciembre





Victoria de Durango, Dgo., a **25 / Noviembre / 2022**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 558 / 22.

**ASUNTO:** Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

**C. BEATRIZ BETANCOURT CHÁIDEZ**  
**No. DE CONTROL M13790028**  
**P R E S E N T E .**

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Ingeniería** cuyo título es:

**"Relación del pH y CE en la población de BCPV (*Azospirillum spp.* y *Azotobacte spp.*) en suelos de uso agrícola"**

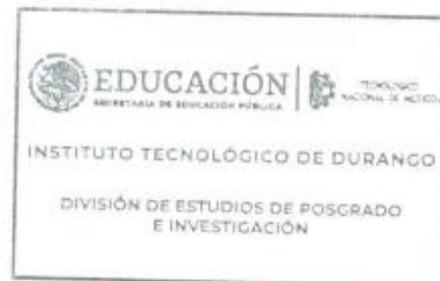
**CONTENIDO:**

	RESUMEN
	ABSTRACT
CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III	MATERIALES Y MÉTODOS
CAPÍTULO IV	RESULTADOS
CAPÍTULO V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
CAPÍTULO VI	BIBLIOGRAFÍA
CAPÍTULO VII	ANEXOS

**ATENTAMENTE.**

*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*"La Técnica al Servicio de la Patria"*

**C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



AEM/ammc



Victoria de Durango, Dgo., a **25 / Noviembre / 2022**.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 559 / 22.

**ASUNTO:** Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

**C. BEATRIZ BETANCOURT CHÁIDEZ**  
**No. DE CONTROL M13790028**  
**PRESENTE.**

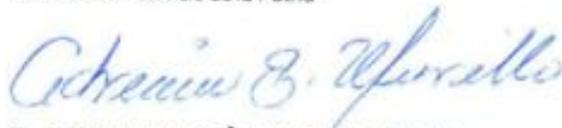
De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Ingeniería**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

**"Relación del pH y CE en la población de BCPV (*Azospirillum spp.* y *Azotobacte spp.*) en suelos de uso agrícola"**

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE.**

*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*"La Técnica al Servicio de la Patria"*



**C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



AEM/ammc



Av. Felipe Pescador #1830 Ote. Col. Nueva Viscaya C.P.34050 Durango, Durango.  
Tel. (510) 230000 e-mail: dir\_idurango@tecna.mx | tecna.mx | itdurango.edu.mx





## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su invaluable apoyo para la realización de dicha tesis.

Al Tecnológico Nacional de México, campus Valle del Guadiana, al Laboratorio de Biotecnología Vegetal TNM-ITVG, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi amigo y tutor de tesis M.C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva por su amistad, instrucción y colaboración durante todo el proceso de mi preparación académica.

A la Mtra. Cecilia Gamero, a la Dra. Carmen Zulema Quiñones, a la Dra. Abby Ortiz, al Dr. Eduardo Gamero, al Dr. Manuel Mata, al Mtro. Jaime Herrera les agradezco su dedicación, sus valiosos aportes, múltiples sugerencias y consideraciones durante la maestría.

A todos muchas gracias.





## RESUMEN

El suelo es un sistema múltiple que contiene una gran cantidad y variedad de microorganismos. Estos organismos se relacionan entre sí de diversas formas que ayudan también a modificar las propiedades del suelo. Por lo anterior, en las últimas décadas se han desarrollado alternativas para evitar el uso de plaguicidas y fertilizantes convencionales, con el propósito de mejorar la calidad del suelo. Una de las alternativas más implementadas son los inoculantes microbianos, que se caracterizan por el uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, las cuales son de las tecnologías más limpias para el desarrollo de la agricultura sostenible. Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal del Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Guadiana. El objetivo de este trabajo de investigación fue conocer la relación del pH y la C.E. con la población de BPCV (*Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.). Se recolectaron muestras de suelo de dos zonas geográficas del estado de Durango, se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los factores son el Sitio de muestreo (Localidad La Constancia y Aquiles Serdan) y el Inoculante aplicado (NitroBac Plus® y BioKomplet SH®). Los datos se evaluaron con un ANOVA y se aplicaron pruebas de medias Tukey. Finalmente se realizaron los análisis físico-químicos y microbiológicos del suelo. Observando una disminución del pH en los dos sitios de muestreo, siendo los tratamientos 1 y 2 correspondientes a la localidad de La Constancia sin la aplicación de inoculante y con la aplicación de NitroBac Plus®, los más cercanos a la neutralidad. En la variable de C.E. en el sitio de





muestreo La Constancia hubo una disminución de C.E. de moderadamente alta a una C.E. alta; para los tratamientos del sitio de muestreo Aquiles Serdán, hubo un aumento de C.E. Las UFC/gSuelo de *Azotobacter* y *Azospirillum* el tratamiento 6 correspondiente al sitio de muestreo Aquiles Serdán con aplicación del inoculante NitroBacPlus ® muestra un incremento considerable. Por lo que se recomienda el uso de BPCV, ya que ayudan a acondicionar el suelo para el buen desarrollo de las plantas.





## ABSTRACT

Soil is a multiple system that contains a large number and variety of microorganisms. These organisms relate to each other in various ways that also help to modify the properties of the soil. Therefore, in recent decades alternatives have been developed to avoid the use of conventional pesticides and fertilizers, with the purpose of improving soil quality. One of the most implemented alternatives are microbial inoculants, which are characterized by the use of plant growth-promoting bacteria, which are the cleanest technologies for the development of sustainable agriculture. This research was carried out in the Plant Biotechnology Laboratory of the Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Guadiana. The objective of this research work was to know the relationship of pH and C.E. with the population of BPCV (*Azospirillum* spp. and *Azotobacter* spp.). Soil samples were collected from two geographical areas of the state of Durango, established under a completely randomized experimental design with factorial arrangement, with eight treatments and four replications. The factors are the sampling site (Locality La Constancia and Aquiles Serdan) and the applied inoculant (NitroBac Plus ® and BioKomplet SH®). Data were assessed with an ANOVA and Tukey mean tests were applied. Finally, the physical-chemical and microbiological analyses of the soil were carried out. Observing a decrease in pH in the two sampling sites, being treatments 1 and 2 corresponding to the locality of La Constancia without the application of inoculant and with the application of NitroBac Plus®, the closest to neutrality. In the C.E. variable at the sampling site La Constancia there was a decrease in C.E. from moderately high to high C.E.;





for treatments from the Aquiles Serdan sampling site, there was an increase in C.E. The CFU/gSoil of *Azotobacter* and *Azospirillum* treatment 6 corresponding to the sampling site Aquiles Serdán with application of the inoculant NitroBacPlus® shows a considerable increase. So the use of BPCV is recommended, as they help condition the soil for the proper development of plants.





## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	20
2.1 Antecedentes .....	20
2.2 Salud del suelo.....	21
2.3 El suelo como hábitat microbiano .....	21
2.4 Componentes del suelo .....	23
2.5 Los microorganismos del suelo.....	23
2.5.1 Importancia de los microorganismos del suelo .....	24
2.6 Microbiología y agricultura .....	25
2.7 Bacterias .....	26
2.8 Bacterias promotoras de crecimiento vegetal .....	27
2.8.1 <i>Azospirillum</i> spp.....	28
2.8.2 <i>Azotobacter</i> spp.....	29
2.9 Crecimiento, muerte y dinámica de poblaciones microbianas .....	29
2.10 Acidez y Alcalinidad.....	30
2.11 Conductividad eléctrica y salinidad .....	31
2.12 Identificación microbiológica.....	32
2.13 Instrumentos de medición de pH y C.E. ....	33
2.13.1 Medidor de pH.....	33
2.13.2 Medidor de C.E.....	33
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Localidades de muestreo .....	35
3.2 Diseño Experimental.....	35
3.3 Inoculación de BPCV .....	36
3.4 Muestreo y Análisis físico-químico del suelo .....	38





3.5	Análisis microbiológicos del suelo.....	38
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		41
4.1	Resultados del análisis de suelo.....	42
4.2	Resultados de pH en el suelo.....	44
4.3	Resultados de C.E. en el suelo.....	45
4.4	Resultados de análisis microbiológicos.....	47
CAPÍTULO 5. Conclusiones y Recomendaciones.....		55
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA.....		56
CAPÍTULO 7. ANEXOS.....		60





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de crecimiento de microorganismos.....	30
Figura 2. Medidor digital de pH del suelo .....	33
Figura 3. Análisis de Varianza de las variables pH, C.E., <i>Azotobacter</i> y <i>Azospirillum</i> .....	41
Figura 4. Análisis de suelo de la localidad Aquiles Serdán.....	42
Figura 5. Análisis de suelo de la localidad La Constancia.....	43
Figura 6. Resultado del pH en el suelo .....	44
Figura 7. Resultado de C.E. en el suelo .....	46
Figura 8. UFC/g Suelo antes de las inoculaciones.....	48
Figura 9. UFC/g Suelo después de las inoculaciones.....	49
Figura 10. UFC/g Suelo de <i>Azospirillum</i> antes de las inoculaciones.....	51
Figura 11. UFC/g Suelo de <i>Azospirillum</i> después de las inoculaciones.....	52





## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Interpretación de C.E. ....	32
Cuadro 2 Tratamientos .....	36
Cuadro 3. Composición porcentual de BioKomplet SH®.....	36
Cuadro 4. Composición porcentual de NitroBac Plus®.....	37
Cuadro 5 Comparación de medias de la variable pH .....	44
Cuadro 6 Comparación de medias de la variable C.E.....	47
Cuadro 7 Comparación de medias de la variable Azotobacter antes de la inoculación.....	48
Cuadro 8 Comparación de medias de la variable Azotobacter después de la inoculación.....	50
Cuadro 9 Comparación de medias de la variable Azospirillum antes de la inoculación.....	51
Cuadro 10 Comparación de medias de la variable Azospirillum después de la inoculación. ....	53





## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Toma de muestras de suelo.....	60
Anexo 2. Determinación de pH del suelo .....	60
Anexo 3. Muestras de suelo del sitio Aquiles Serdán.....	61
Anexo 4. Plantación de fresas.....	62
Anexo 5. Establecimiento del cultivo de fresa .....	63
Anexo 6. Muestras de suelo .....	64
Anexo 7. Determinación del pH en el laboratorio .....	65
Anexo 8. Determinación de C.E. del suelo .....	66
Anexo 9. Realización de análisis físico, químicos y microbiológicos del suelo .....	67





## LISTA DE NOMENCLATURA

pH	Potencial de hidrógeno
C.E.	Conductividad eléctrica
BPCV	Bacterias promotoras de crecimiento vegetal
H <sub>2</sub> O	Agua
g/L	Gramo por litro
mL	Mililitro
KOH	Hidróxido de potasio
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Fosfato dipotásico
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Sulfato de magnesio
CaCl <sub>2</sub>	Cloruro de calcio
NaCl	Cloruro de sodio
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Sulfato ferroso
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Sulfato de manganeso
MO	Materia orgánica
P	Fosforo
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Na	Sodio
N	Nitrógeno
g/cm <sup>3</sup>	Gramo/ centímetro cubico
Meq/L	Miliequivalentes/litro





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

dS/m

UFC/gSuelo

deciSiemens/metro

Unidades formadoras de  
colonias/gramo de suelo





## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema complejo que alberga una gran cantidad y variedad de especies vegetales, animales y de microorganismos. Estos organismos establecen relaciones entre sí en formas variables y complejas que contribuyen también a modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Nogales, 2005). Por lo anterior, en las últimas décadas se han desarrollado alternativas para evitar el uso de plaguicidas y fertilizantes convencionales, con el propósito de mejorar la calidad del suelo.

Una de las alternativas más usada son los biofertilizantes, los cuales mejoran las condiciones del suelo, como los inoculantes microbianos, que se caracterizan por el uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV), ya que son una de las tecnologías más limpias promisoras para el desarrollo de la agricultura sostenible para los productores agrícolas y la sociedad (Bashan et al., 2013).

Entre los géneros de rizobacterias mas utilizados como BPCV se encuentran, *Azospirillum*, y *Azotobacter* (Castellano et al., 2015).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue conocer el efecto del pH y C.E. con la población de BPCV (*Azospirillum* spp. Y *Azotobacter* spp.) en dos tipos de suelo.





## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar el pH y la C.E. en la población de BPCV (*Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.) en dos tipos de suelo.

### Objetivos específicos

- Colectar y caracterizar físico, química y microbiológicamente la población de *Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.
- Evaluar la adición de inoculantes de *Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp. en cultivo de fresa en invernadero.
- Correlacionar el pH y la C.E. en la población de *Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.

### Delimitación

La presente investigación se enfoca en la inoculación de BPCV (*Azospirillum* spp. Y *Azotobacter* spp.) para relacionar las propiedades químicas del suelo (pH y C.E.) a partir de muestras de suelo, el mismo que se implementó en el TNM-Campus Valle del Guadiana, en el periodo 2019-2021.





## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

En la literatura es común encontrar sólo aquellos reportes exitosos del uso de inoculantes. Por consiguiente, es difícil identificar los factores involucrados con la poca o nula respuesta de los cultivos (Grageda et al., 2012).

Creus (2017) cito que el escenario se complejiza aún más debido a que todos los estos factores varían con el contenido hídrico, la temperatura, los nutrientes y la estructura del suelo, entre otros componentes ambientales. Es así que las aplicaciones en la producción agrícola están aún ralentizadas y la interacción de todos estos factores conduce a resultados muchas veces impredecibles.

Sangoquiza y colaboradores (2018) describen que en su investigación que tuvo como objetivo la respuesta biológica de aislados de *Azospirillum* spp. frente a diferentes tipos de estrés. Para ello realizaron la caracterización micro y macro morfológica de los aislados y su respuesta biológica frente a estrés de temperatura, pH, salinidad. Los resultados revelaron que los aislados (C2, C3 y C4) de *Azospirillum* spp. crecen en mayor abundancia a temperaturas entre 28-38 °C, a pH entre 7-8. Los aislados C2 y C3 mostraron un buen crecimiento hasta 3,5 % (m/v) de NaCl, mientras que la cepa C4 fue menos tolerante.





## 2.2. Salud del suelo

El concepto de suelo saludable se refiere al mantenimiento continuo de su capacidad funcional como un sistema vivo, que conserva la calidad de sus componentes y promueve la salud ambiental. En esta concepción, los microorganismos adquieren un papel preponderante. Hasta se ha afirmado que la funcionalidad de un ecosistema terrestre depende de los microorganismos del suelo (Creus, 2017).

La salud del suelo se ha definido como: “La capacidad del suelo de funcionar como un sistema vivo. Los suelos sanos mantienen una diversa comunidad de organismos del suelo que ayudan a controlar las enfermedades de las plantas, los insectos y las malas hierbas, forman asociaciones simbióticas beneficiosas con las raíces de las plantas, reciclan los nutrientes vegetales esenciales, mejoran la estructura del suelo con efectos positivos para la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo y, en última instancia, mejoran la producción agrícola” (FAO, 2008).

## 2.3 El suelo como hábitat microbiano

Aunque parece inerte, la capa más superficial del suelo es muy rica en microorganismos que intervienen en muchas transformaciones químicas vitales para los cambios geoquímicos y la fertilidad del suelo (Ingraham & Ingraham, 1998).





Llamamos suelo a la parte más externa de la corteza terrestre, resultante de la meteorización de las rocas subyacentes y con unas características claramente diferenciadas de las mismas. Se puede considerar el suelo como un sistema de interacción entre tres fases bien definidas: una fase sólida, constituida por materia mineral y orgánica, una fase líquida, y una fase gaseosa atmosférica del suelo. La materia orgánica procede de la actividad de los distintos organismos vivos del suelo, y su composición y cantidad es variable. Este sistema complejo que constituye el suelo, característicamente heterogéneo espacial y temporalmente, alberga una gran riqueza de especies vegetales, animales y microbianas. Los microorganismos desempeñan funciones de gran importancia en relación con procesos de edafogénesis; ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono, el nitrógeno, oxígeno, el azufre, el fósforo, el hierro y otros metales; fertilidad de las plantas y protección frente a patógenos; degradación de compuestos xenobióticos, entre otros (Nogales, 2005).

El suelo es un organismo vivo: un consorcio de células vivas en una matriz orgánico-mineral. Ni las células vivas ni la composición de esta matriz son constantes: ambas varían con el tiempo y el lugar. Rara vez se modifican los suelos para alterar el crecimiento microbiano. No obstante, cuando se manipulan sus características de modo que afecten el crecimiento de las plantas, lo que constituye la esencia de la agricultura, estas medidas afectan también a los microorganismos. Estos, a su vez, influyen en el crecimiento de las plantas. De hecho, existen muchas y variadas interacciones entre el suelo, los microorganismos y las plantas, que influyen en gran medida sobre el crecimiento y el desarrollo de estas últimas. Cabe alterar el ambiente del suelo para regular estas actividades. Así en el arado, el drenaje, la incorporación de residuos orgánicos, la





fumigación y la fertilización son actividades que cambian el ambiente del suelo (Coyne, 2000).

## 2.4 Componentes del suelo

Los cuatro componentes principales del suelo son las rocas (minerales), el agua, el aire y el material orgánico (hojas y animales en descomposición, por ejemplo). El quinto componente del suelo, el cual muchas veces no es tenido en cuenta, es el mundo vivo que existe en la tierra. Todos los suelos poseen una mezcla de los cinco componentes básicos, y la mayoría de los suelos pueden ser modificados para mejorar esa composición para que sean más adecuados para el desarrollo de la vida vegetal (SACSA, 2015).

Estos componentes interactúan entre ellos determinando la naturaleza de un suelo. Las relativas proporciones de estos componentes influyen en el comportamiento y productividad de los suelos. Un suelo es el producto de dos procesos, uno destructivo y otro de síntesis, y ejemplo de este último es la formación de partículas coloidales (arcilla y humus) (González, 2007).

## 2.5 Los microorganismos del suelo

La diversidad de microorganismos que se encuentran en una fracción de suelo cumplen funciones determinantes en la transformación de los componentes orgánicos e inorgánicos que se le incorporan (EcuRed, 2019).





Muchos organismos viven en el suelo. Algunos, incluidos insectos, lombrices y pequeños vertebrados, se pueden observar a simple a vista. Sin embargo, la mayoría, en términos de peso y de capacidad metabólica, son microscópicos, y principalmente son bacterias. Las bacterias del suelo son extremadamente diversas. Incluyen formas aerobias, anaerobias y anaerobias facultativas que siguen proliferando cuando su hábitat cambia de aeróbico a anaeróbico. La mayoría de los suelos contiene microorganismos termófilos, lo cual refleja el hecho de que la superficie del suelo puede estar extremadamente caliente durante el día. Sin embargo, la temperatura del suelo varía ampliamente, y las bacterias que habitan en el mismo varían enormemente en cuanto a su temperatura óptima de crecimiento y crecen en un amplio intervalo de pH (Ingraham & Ingraham, 1998).

### 2.5.1 Importancia de los microorganismos del suelo

Los microorganismos del suelo, son los componentes más importantes de este, constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo. En un solo gramo de tierra, encontramos millones de microorganismos beneficiosos para los cultivos. Estos microorganismos beneficiosos que se encuentran en el suelo, son bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios. Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutritivos disponibles para la planta, o una población microbiana que libere nutrientes que permitan un buen desarrollo vegetal (Flores, 2009).





La cantidad de microorganismos en el suelo varía entre  $10^7$  y  $10^9$  (Alexander, 1980).

Las bacterias, como grupo, participan en todas las transformaciones orgánicas vitales para un suelo que deba soportar con éxito a las plantas superiores. Y en este aspecto son fundamentales para la nitrificación, oxidación del azufre y fijación del nitrógeno atmosférico. Si estos procesos fallan, la vida de las plantas superiores se altera rápidamente (Navarro & Navarro, 2003).

## 2.6 Microbiología y agricultura

La importancia que tienen los microorganismos en la naturaleza y en sus relaciones con el hombre es cada día más evidente. Cuando la agricultura tiene la necesidad de adoptar medidas conservacionistas, los microorganismos utilizados como biofertilizantes tienen un papel sustancial. El desarrollo y uso de los biofertilizantes se contempla como una importante alternativa para la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales.

Los beneficios que presenta el uso de microorganismos en la agricultura pueden concretarse de la siguiente manera: a) Fitoestimulantes, estimulan la germinación de las semillas y el enraizamiento por la





producción de reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias; b) Biofertilizantes, incrementan el suministro de los nutrimentos por su acción sobre los ciclos biogeoquímicos, tales como la fijación de  $N_2$ , la solubilización de elementos minerales o la mineralización de compuestos orgánicos c) Mejoradores, mejoran la estructura del suelo por su contribución a la formación de agregados estables; d) Agentes de control biológico de patógenos, desarrollan fenómenos de antagonismo microbio-microbio; e) Biorremediadores, eliminan productos xenobióticos tales como pesticidas, herbicidas y fungicidas; y f) Mejoradores ecofisiológicos, incrementan la resistencia al estrés tanto biótico como abiótico ( Bowen & Rovira, 1999).

## 2.7 Bacterias

Expresa el número de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo. Es un indicador que refleja la población potencial de las bacterias en un determinado suelo, especialmente aquellas que ocupan diferentes nichos o hábitats. La función básica de las bacterias es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos, de donde obtiene su fuente energética y alimenticia. Mediante su metabolismo liberan al medio sustancias como enzimas, proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción. El número de bacterias tienen una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos





con poca compactación y sin excesos de agua. Dentro de las propiedades químicas que favorece la actividad de las bacterias se encuentra un pH cercano a la neutralidad, una baja acidez, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg (Acuña et al., 2006).

## 2.8 Bacterias promotoras de crecimiento vegetal

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal en las plantas (BPCV), son un grupo de diferentes microorganismos que pueden incrementar el crecimiento y la productividad vegetal, los géneros más conocidos y utilizados en la agricultura son: *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Actinoplanes*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Bacillus*, entre otros.

Las BPCV presentan grandes ventajas para incrementar la productividad de los cultivos, pueden actuar favoreciendo el crecimiento vegetal de manera directa e indirecta.

Efectos directos:

- Fijación de nitrógeno atmosférico.
- Producción y síntesis de sideróforos (es un compuesto quelante de hierro secretado por microorganismos).
- Solubilización de minerales (especialmente fósforo).
- Síntesis de fitohormonas (auxinas, citocininas y giberelinas).
- Síntesis de la enzima ACC Deaminasa.





Efectos indirectos:

- Biocontrol de fitopatógenos (desarrollo óptimo de raíces).
- Producción de antibióticos.
- Reducción de fierro.
- Enzimas líticas de pared celular fungosa.

Para llevar a cabo estas funciones las BPCV actúan a través de diversos mecanismos, fungiendo como bioestimulantes, fitoestimulador, biopesticidas o agentes de biocontrol (Camelo et al., 2011).

### 2.8.1 *Azospirillum* spp.

Las bacterias del género *Azospirillum* son conocidas como rizobacterias promotoras de crecimiento de las plantas, capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. El interés agronómico por dicho genero se basa en los beneficios potenciales que presentan algunas cepas para ser utilizadas como biofertilizante (Pedraza, 2002).

Los *Azospirillum* muestran una amplia distribución geográfica alrededor del mundo. Aun cuando son más abundantes en regiones tropicales, también se les encuentra en las regiones templadas, frías y desérticas. El pH del suelo juega un papel importante en la presencia de las especies del género *Azospirillum*. Las especies de *A. brasilense* y *A. lipoferum* se encuentran en mayor abundancia en suelos con valores de pH cercanos a la neutralidad, aun cuando a pH debajo de se les encuentra en forma





esporádica y no lográndose su aislamiento de suelos con pH menor a 4.5 (Caballero, 2005).

## 2.8.2 *Azotobacter* spp.

El género *Azotobacter* tiene la potencialidad de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar elementos minerales y producir un grupo de sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal. Los microorganismos pertenecientes al género *Azotobacter* son bacterias asociativas de vida libre (Rodríguez et al., 2016).

La bacteria de *Azotobacter* se puede encontrar en suelos alcalinos a neutros, en ambientes acuáticos y en la rizosfera de las plantas (Delgado et al., 2003).

## 2.9 Crecimiento, muerte y dinámica de poblaciones microbianas

El modelo de crecimiento se divide en siete fases 1) fase lag, no hay incremento en el número, las células se están ajustando al medio; 2) fase log, o fase de crecimiento solamente restringida por los microorganismos; 3) fase de declinación del crecimiento por la carencia de alimento; 4) fase estacionaria, se mantiene el nivel de la población microbiana; 5) incremento en la muerte con la primera disminución de la población; 6)



fase log de muerte, finalmente muere toda la población celular y se completa el ciclo de crecimiento (E.A., 2016) (Figura 1).

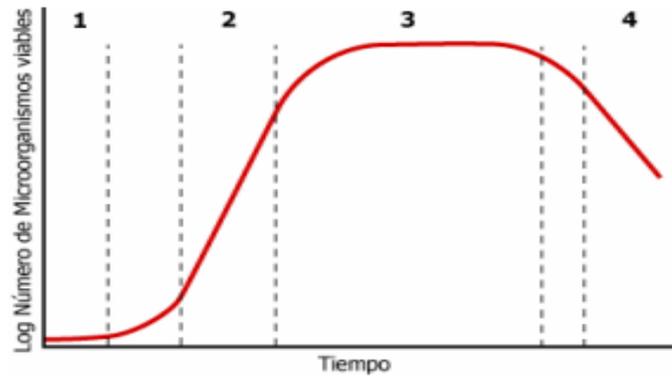


Figura 1. Fases de crecimiento de microorganismos.

## 2.10 Acidez y Alcalinidad

La mayor parte de los suelos agrícolas tienen un pH situado entre 4 y 8.5. Una acidez o alcalinidad excesivas hacen del suelo un terreno inhóspito para el crecimiento de plantas y microbios. En su mayoría, los microorganismos son metabólicamente intolerantes a un pH bajo. Las plantas y los microorganismos tienen que combatir las limitaciones de fósforo en los suelos ácidos. Se dice que el fósforo se limita debido a que, sin él, una planta o microorganismo ve restringido su crecimiento. La tolerancia microbiana a la acidez varía. Los hongos son más tolerantes que las bacterias, las cuales, a su vez, resultan más tolerantes a la acidez que los actinomicetos. Siempre hay excepciones y, en condiciones de acidez extrema, se suelen encontrar más bacterias que hongos. La mayor parte de los microorganismos parece crecer mejor en torno a un pH 7 y esto lo reflejan las poblaciones de microorganismos que han sido cuantificados en suelos con distinto pH (Coyne, 2000).





A pH neutro las bacterias predominan sobre los hongos, bajo 6.5 los hongos compiten con las bacterias exitosamente, a pH de 4.0-5.0 los hongos predominan casi por completo sobre las bacterias (Cristiano, 2021).

La reacción del suelo condiciona de forma decisiva no solo la vida de los microorganismos y los importantes procesos en que ellos intervienen, sino también la mayor o menor asimilabilidad de muchos elementos químicos que para la planta son esenciales, y la de otros que a determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos y producir en ella graves alteraciones (Navarro & Navarro, 2003).

## 2.11 Conductividad eléctrica y salinidad

La salinidad de un suelo o agua, se refiere a la cantidad de sales presentes en solución, y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (C.E.). El valor de C.E. es influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas. A mayor valor de C.E., mayor es la salinidad presente. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la C.E. traerá como consecuencia una disminución de rendimiento (Rebolledo, 2017).





Cuadro 1 Interpretación de C.E.

Conductividad Eléctrica dS/m	
0 – 2	No Salino
2 – 4	Muy ligeramente salino
4 – 8	Moderadamente salino
8 – 16	Fuertemente salino
< 16	Muy fuertemente salino

## 2.12 Identificación microbiológica

La mayoría de los microorganismos, bacterias y hongos, se multiplican sobre substratos nutritivos artificiales denominados medios de cultivo. Los medios de cultivo son preparados estériles que contienen sustancias necesarias para el crecimiento y proliferación de los microorganismos. La utilización de estos medios nutritivos nos permite aislar especies determinadas y realizar estudios complementarios para lograr su identificación análisis. Sembrar o inocular es el procedimiento por el cual artificialmente se introducen microorganismos a medios de cultivo estériles para su proliferación y aislamiento. Posterior a la inoculación, el medio de cultivo se inocula a una temperatura y tiempo específico para cada especie. Para realizar un cultivo microbiológico se deben considerar diversos factores para evitar los contaminantes ambientales. Desde que se manipula el medio de cultivo esterilizado, se deben tomar todas las precauciones para mantener las condiciones de asepsia, y de esta forma obtener un cultivo puro o axénico. La transferencia de un inóculo bacteriano a un cultivo estéril en placa o tubo de ensayo, se realiza con un asa microbiológica o con pipetas Pasteur en medio líquido. Ambos instrumentos de siembra, deben ser previamente esterilizados por





calentamiento a la llama del mechero (calor seco) (Serrano Berrios & Gutierrez, 2018).

## 2.13 Instrumentos de medición de pH y C.E.

### 2.13.1 Medidor de pH

Luster Leaf 1845 es un medidor digital de pH del suelo, el estilo del medidor es delgado y rediseñado que proporciona una lectura digital instantánea más fácil de leer. Mide y muestra la acidez/alcalinidad del suelo (Figura 2).



Figura 2. Medidor digital de pH del suelo

### 2.13.2 Medidor de C.E.

Los HI9835 son medidores manuales de conductividad/salinidad/TDS/temperatura. Utiliza la sonda de





conductividad de cuatro anillos HI 76309/1.5 con sensor de temperatura interno. El diseño de los cuatro anillos ofrece lecturas exactas sobre todo el rango de conductividad con inmunidad a la polarización y las fallas que ocurren en el uso continuo de sondas amperométricas (HANNA instruments, s.f.).





## CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología vegetal del Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Guadiana en Villa Montemorelos, Dgo. El trabajo estuvo orientado a evaluar el efecto del pH y C.E. en la población de BPCV (*Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.) en dos tipos de suelo.

### 3.1 Localidades de muestreo

Se recolectaron muestras de suelo en dos zonas geográficas del estado de Durango, las cuales son: (1) Localidad Aquiles Serdán en el municipio de Durango; (2) La Constanza localizada en el Municipio Nombre de Dios. Las muestras fueron procesadas bajo las mismas condiciones al TNM-ITVG donde fueron establecidas en bolsas de plástico tipo vivero en el plantero de la institución.

### 3.2 Diseño Experimental

El estudio se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Como se muestra en el Cuadro 2, los factores son el Sitio de muestreo y el Inoculante aplicado.





*Cuadro 2 Tratamientos*

Sitio	Inoculante	Tratamiento
La Constancia	0	1
	N	2
	B	3
	NB	4
Aquiles Serdán	0	5
	N	6
	B	7
	NB	8

### 3.3 Inoculación de BPCV

Para la inoculación se utilizaron dos productos comerciales, los cuales son:

- BioKomplet SH ® que es un fertilizante biológico y de protección único en el mercado a base de un complejo de hongos micorrícicos, rizobacterias y hongos entomopatógenos los cuales estimulan la germinación, emergencia y protección contra hongos, bacterias y plagas (Cuadro 3).

*Cuadro 3. Composición porcentual de BioKomplet SH®*

COMPOSICIÓN PORCENTUAL	%(P/V)
Complejo de endomicorrizas vesiculares arbusculares	20 esporas / gr
<i>Azotobacter spp</i>	1 x 10 <sup>5</sup> ufc /gr
<i>Azospirillum brasiliensis</i>	1 x 10 <sup>5</sup> ufc /gr





<i>Bacillus</i> spp	1 x 10 <sup>5</sup> ufc /gr
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1 x 10 <sup>5</sup> ufc /gr
<i>Beauveria bassiana</i>	1 x 10 <sup>5</sup> ufc /gr
<i>Metharizium anisopliae</i>	1 x 10 <sup>5</sup> ufc /gr
Humatos de potasio	20.00 %
Sulfato ferroso	5.00 %
Arcilla micronizada (vehículo)	74.99 %
Total	100.00 %

- NitroBac Plus ® es un fertilizante biológico diseñado para la inoculación de semillas en suelo (Cuadro 5).

Cuadro 4. Composición porcentual de NitroBac Plus®

COMPOSICIÓN PORCENTUAL	%(P/V)
<i>Azospirillum brasiliensis</i> (1x10 <sup>7</sup> ufc/ml)	40.00 %
<i>Azotobacter</i> spp. (1x10 <sup>7</sup> ufc/ml)	40.00 %
<i>Bacillus</i> spp. (1x10 <sup>7</sup> ufc/ml)	10.00 %
Acondicionadores y diluyentes orgánicos	10.00 %
Total	100.00 %

Se aplicaron las dosis recomendadas de los productos, 0.5 kg/ha de BioKomplet SH® y 1 L/ha de NitroBac Plus®.





### 3.4 Muestreo y Análisis físico-químico del suelo

Los muestreos y análisis físicos químicos de suelo se llevaron a cabo de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis; en el Laboratorio de Suelos del TNM-ITVG.

### 3.5 Análisis microbiológicos del suelo.

Se caracterizaron BPCV *Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.

#### Buffer de fosfatos

Para la solución madre se pusieron 6 g de fosfato monobásico; 100 mL H<sub>2</sub>O destilada; pH 7.2 y para el buffer de fosfato diluido poner 1.25 mL de solución madre y aforar a 1000 mL (1L) con H<sub>2</sub>O destilada.

Para el aislamiento de *Azospirillum*.

#### 1. Medio NFB modificado

Es el medio más común para aislar *Azospirillum* pues no permite que entren contaminantes.

Se preparó con 5 g/L de sacarosa; 4 g/L de KOH; 0.5 g/L de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 0.2 g/L de MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 0.02 g/L de CaCl<sub>2</sub>; 0.1 g/L de NaCl; 0.5 g/L de FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 2 g/L de NaMoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O; 10 g/L de MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O; agua destilada; pH 6.8 (Holguin et al., 1996).





## 2. Medio semiselectivo NFB-Rojo Congo

Este medio es básicamente el medio NFB solo se le añadieron 15 mL/L de una solución acuosa de rojo congo (1:400) esterilizada por separado. Este medio permite reconocer las colonias de *Azospirillum* facilitado el aislamiento, ya que las colonias se tiñen de rojo oscuro o escarlata (Holguin et al., 1996).

## 3. Agar nutritivo

Este medio se preparó con 23 g/L de agar nutritivo y agua destilada.

Para el aislamiento de *Azotobacter* (Kole et al., 1988).

Composición (g/L):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 1.0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.2; NaCl, 0.2;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.005; extracto de suelo, 100 mL; agua destilada, 900 mL; agar, 15; y manitol, 20. El pH se ajusta a 7.6 con NaOH antes de esterilizar. El manitol y el  $\text{FeSO}_4$  se esterilizaron por separado y se agregaron al resto del medio al enfriarse. El extracto de suelo se preparó de acuerdo a lo que menciona Page (1986).

### Caracterización de aislados

La caracterización de los aislados microbianos se realizó a colonias crecidas en los medios de cultivo a 28°C durante 48 h.

El medio se puso a esterilizar en olla exprés. Después se puso a solidificar en las cajas Petri. Se realizaron diluciones seriadas decimales de los 8 tratamientos, se tomó 10 g de suelo por tratamiento y a cada una se le agregó 90 mL de Buffer de fosfato en un frasco estéril. Dicho proceso se realizó con micropipetas azules y amarillas estériles. Se sembraron las bacterias en las cajas Petri con el medio NFB modificado Rojo congo, con





ayuda de una varilla en L estéril por extensión en superficie. Se etiquetaron las cajas con los datos correspondientes y se sellaron con plástico adherible. Luego se pusieron a incubar en una estufa durante 48 horas a una temperatura constante de 28°C. Después del tiempo mencionado se observó crecimiento de las bacterias y se sacaron las cajas, para hacer el conteo de colonias desarrolladas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Medios de cultivos y diluciones

Bacteria	Medio de cultivo	Dilución			
<i>Azotobacter</i>	Kole, et al., 1988	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
<i>Azospirillum</i>	NFB-Rojo Congo	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>





## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran a continuación los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, de los análisis de suelo, microbiológicos, y las variables de pH y CE. Los datos se evaluaron con un ANOVA con el 95% de probabilidad y se aplicaron pruebas de medias Tukey ( $\alpha$  0.05) mediante el software IBM SPSS®, las cuales se muestran a continuación de manera gráfica.

		gl.	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	7	.292	3.190	.063
	Dentro de grupos	8	.091		
	Total	15			
CE	Entre grupos	7	491.830	.783	.620
	Dentro de grupos	8	628.233		
	Total	15			
Azotobacter_1	Entre grupos	7	5800126.286	16.120	.000*
	Dentro de grupos	8	359811.750		
	Total	15			
Azotobacter_2	Entre grupos	7	201392.536	1.325	.349
	Dentro de grupos	8	151977.750		
	Total	15			
Azospirillum_1	Entre grupos	7	21849.920	11.645	.001*
	Dentro de grupos	8	1876.313		
	Total	15			
Azospirillum_2	Entre grupos	7	333031.857	19.924	.000*
	Dentro de grupos	8	16715.500		
	Total	15			

\*=Diferencia significativa

Figura 3. Análisis de Varianza de las variables pH, C.E., *Azotobacter* y *Azospirillum*.

Dentro de los estudios estadísticos realizados a las variables de respuesta, se observa en la Figura 3, análisis de varianza, que en los casos de las variables de *Azotobacter* y *Azospirillum*, hay diferencias significativas; de





acuerdo con Acuña y colaboradores (2006), los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción.

#### 4.1 Resultados del análisis de suelo

A continuación, se muestran los resultados de los análisis de suelo

DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO	
Productora: Liliana Lechuga	Cultivo: Fresa
Municipio: Durango	Tipo de Agricultura: Protegida
Estado: Durango	Poblado: Aquiles Serdán

Propiedades Físicas del Suelo	
Resultado	Interpretación
Clase Textural	Franco Arenoso
Densidad Aparente	1.088 g/cm <sup>3</sup>
Porosidad	59%

Fertilidad del Suelo									
Det	Resultado	Unidad	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Medio	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	1.273	%							
P	56.73	Meq/L							
Ca	0.5	Meq/L							
Mg	0	Meq/L							
Na		Meq/L							
N	0.06365	%							

pH del Suelo	
Resultado	Interpretación
pH	8.5 Alcalino
Carbonatos	No presente
Bicarbonatos	7 Meq/L
Salinidad (CE)	0.683 ds/m Bajo

Figura 4. Análisis de suelo de la localidad Aquiles Serdán, Dgo.

Con relación al análisis de suelo, Figura 4, se muestran los resultados del análisis del sitio de muestro de la localidad Aquiles Serdán, en donde se





puede observar un suelo con pH alcalino, suelo con textura media, libre de carbonatos, bajo nivel de materia orgánica, alto en fósforo y muy bajo suministro de calcio. Navarro & Navarro citan en el 2003, que la reacción del suelo condiciona de forma decisiva la asimilación de muchos elementos químicos que para la planta son esenciales, y la de otros que a determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos y producir en ella graves alteraciones.

DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO	
Productor: Herman	Cultivo: Fresa
Municipio: Nombre de Dios	Tipo de Agricultura: Protegida
Estado: Durango	Poblado: La Constanca

Propiedades Físicas del Suelo	
Resultado	Interpretación
Clase Textural	Franco Arenoso
Densidad Aparente	1.134 g/cm <sup>3</sup>
Porosidad	59%

Fertilidad del Suelo									
Det	Resultado	Unidad	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Medio	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	0.157	%							
P	15.317	Meq/L							
Ca	1.5	Meq/L							
Mg	1.5	Meq/L							
Na		Meq/L							
N	0.00078	%							

pH del Suelo	
Resultado	Interpretación
pH	8.2 Mod. Alcalino
Carbonatos	No presente
Bicarbonatos	5 Meq/L
Salinidad (CE)	1.871 ds/m

Figura 5. Análisis de suelo de la localidad La Constanca, Dgo.





En la localidad de La Constanca se diagnosticó un suelo con un pH moderadamente alcalino, de textura media, libre de carbonados, muy bajo nivel de materia orgánica, moderadamente bajo en fósforo, muy bajo suministro de calcio y magnesio.

#### 4.2 Resultados de pH en el suelo

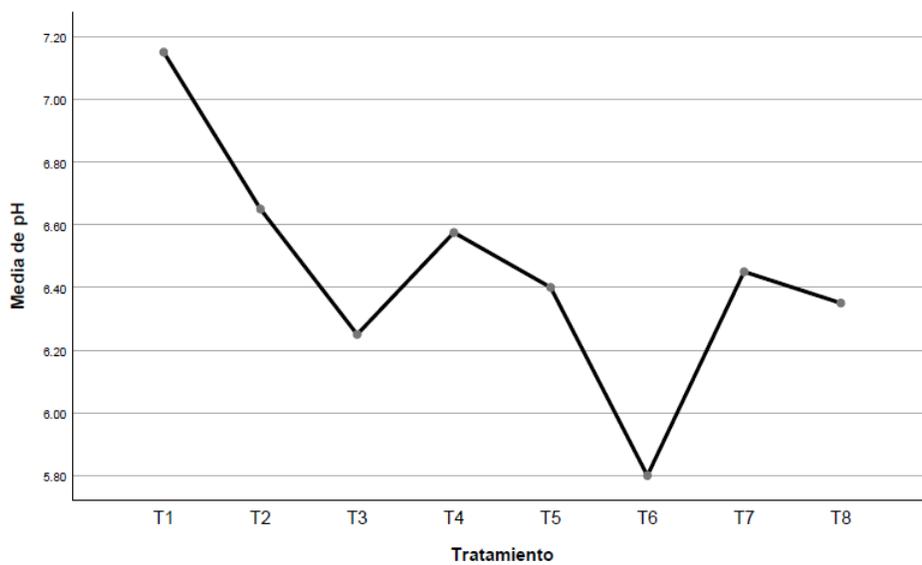


Figura 6. Resultado del pH en el suelo

Cuadro 5 Comparación de medias de la variable pH

pH			
HSD Tukey <sup>a</sup>			
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T6	2	5.8000	
T3	2	6.2500	6.2500
T8	2	6.3500	6.3500
T5	2	6.4000	6.4000





T7	2	6.4500	6.4500
T4	2	6.5750	6.5750
T2	2	6.6500	6.6500
T1	2		7.1500
Sig.		.214	.174

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000.

En relación a la variable de estudio de pH, en la Figura 6, se observa que hubo una disminución en los dos sitios de muestreo (Aguiles Serdán y La Constancia), en cuanto a los tratamientos 1 y 2, son los más cercanos a la neutralidad; de acuerdo a Coyne(2000), menciona que la mayor parte de los microorganismos crece mejor en un pH 7.

### 4.3 Resultados de C.E. en el suelo

En la variable de C.E., la Figura 7 muestra que en los tratamientos 1,2,3 y 4, correspondientes al sitio de muestro de La Constancia, donde presenta una disminución de una C.E. moderadamente alta a una C.E. alta; en los tratamientos 5,6,7,8 del sitio Aguiles Serdán, presentó un aumento de C.E., teniendo antes de la inoculación de BPCV, una C.E. baja. Lo que favorece al suelo ya que Rebolledo, (2017) cita que la salinidad afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras, ocasionando un menor rendimiento de los cultivos.



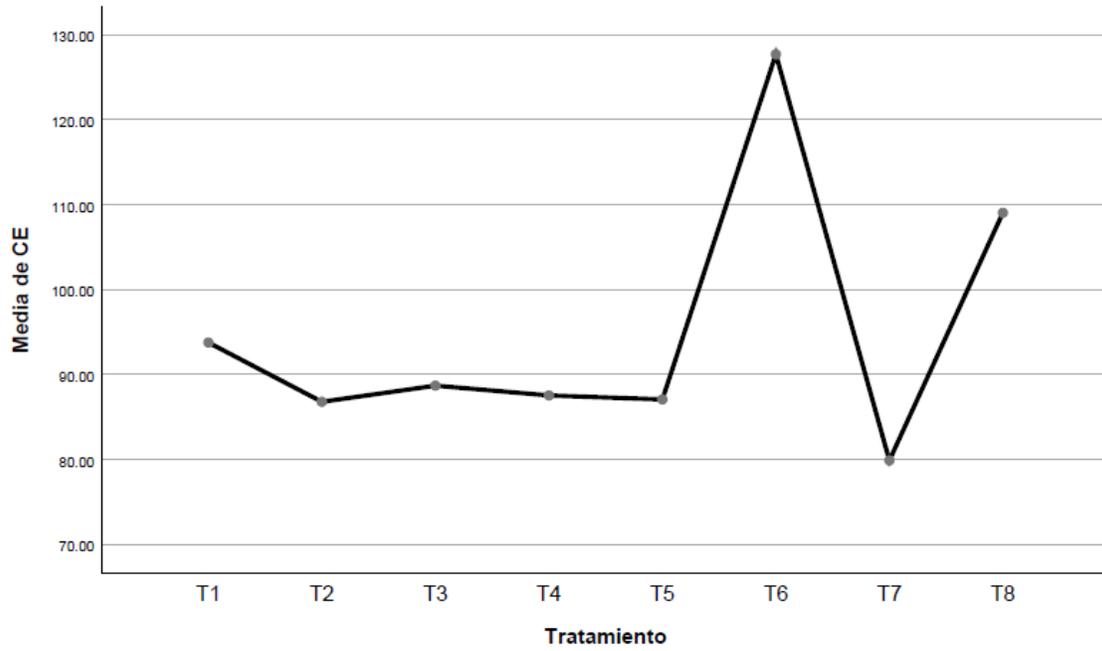


Figura 7. Resultado de C.E. en el suelo





Cuadro 6 Comparación de medias de la variable C.E.

C.E.

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
T7	2	79.9000
T2	2	86.8000
T5	2	87.0750
T4	2	87.5500
T3	2	88.7000
T1	2	93.7750
T8	2	109.0500
T6	2	127.7000
Sig.		.580

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000.

#### 4.4 Resultados de análisis microbiológicos

Los resultados de esta variable, nos muestra un incremento considerable en las UFC/g Suelo de *Azotobacter* como se observa en Figuras 8 y 9. En el tratamiento 6, se observa notoriamente el aumento, el cual corresponde al sitio de muestreo de Aquiles Serdán con aplicación de NitroBac Plus ®. Las bacterias de genero *Azotobacter* aportan a las plantas hasta el 50% de





sus necesidades de nitrógeno mediante la fijación asociativa del elemento que llevan a cabo a partir de la atmosfera, además de suministrar sustancias activas estimuladoras de crecimiento vegetal (González et al., 2012).

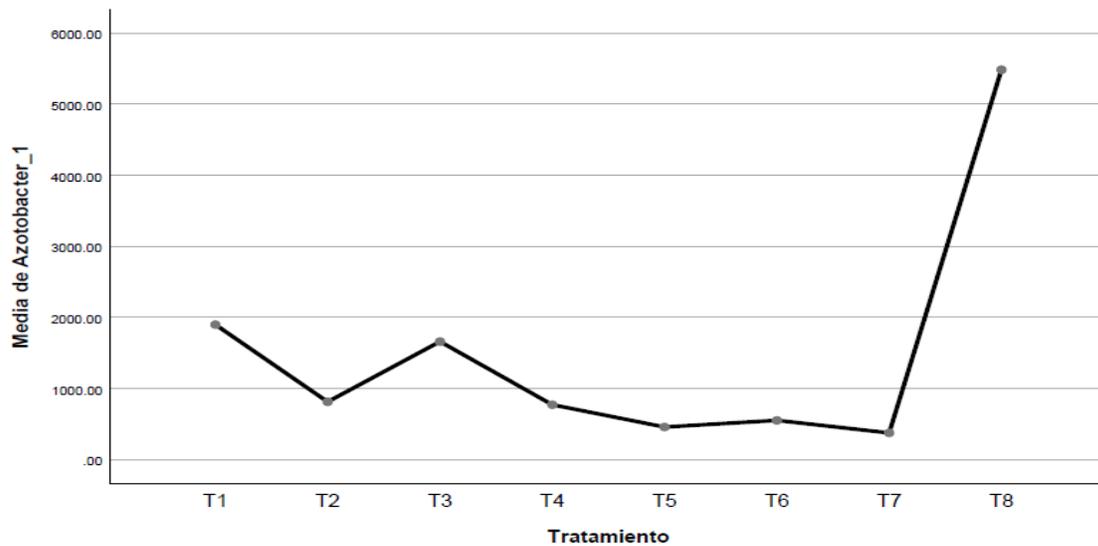


Figura 8. UFC/g Suelo antes de las inoculaciones

Cuadro 7 Comparación de medias de la variable Azotobacter antes de la inoculación.

Azotobacter\_1

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T7	2	377.0000	
T5	2	459.5000	
T6	2	553.5000	





T4	2	773.5000	
T2	2	814.0000	
T3	2	1662.0000	
T1	2	1900.0000	
T8	2		5484.5000
Sig.		.298	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000.

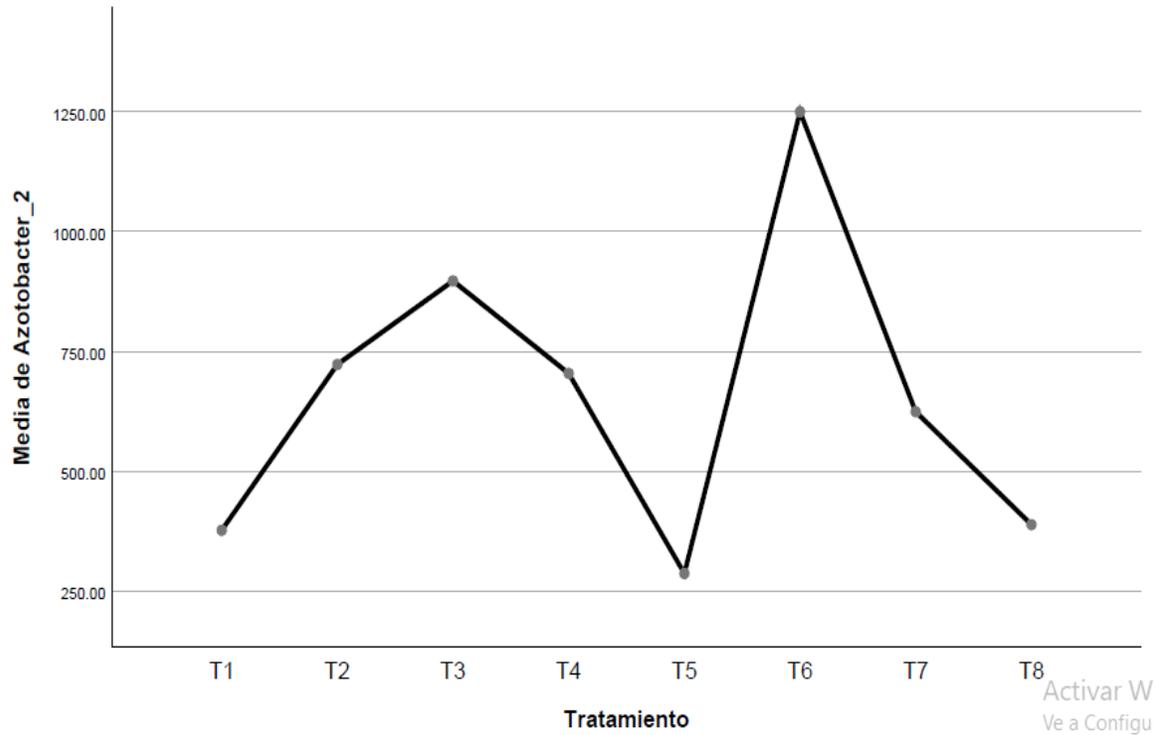


Figura 9. UFC/g Suelo después de las inoculaciones.





Cuadro 8 Comparación de medias de la variable Azotobacter después de la inoculación.

Azotobacter\_2

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
T5	2	286.5000
T1	2	376.5000
T8	2	388.5000
T7	2	624.0000
T4	2	704.0000
T2	2	722.5000
T3	2	897.0000
T6	2	1250.0000
Sig.		.322

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000.



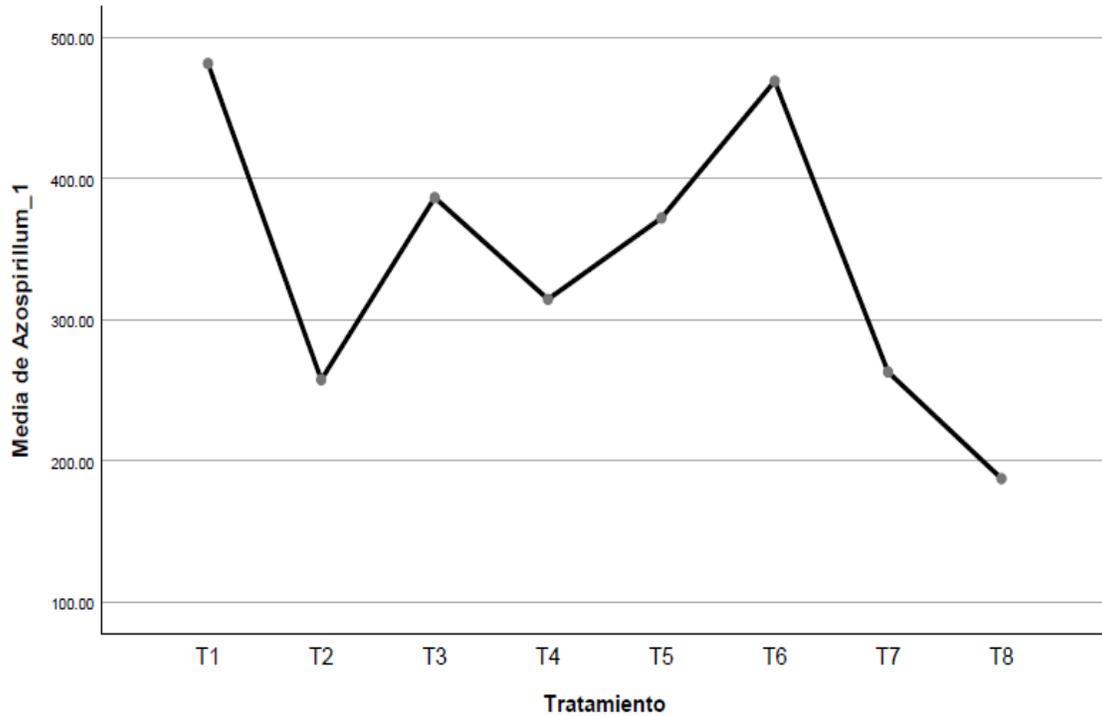


Figura 10. UFC/g Suelo de *Azospirillum* antes de las inoculaciones

Cuadro 9 Comparación de medias de la variable *Azospirillum* antes de la inoculación.

*Azospirillum*\_1

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		C	B	a
T8	2	187.5000		
T2	2	257.5000	257.5000	
T7	2	263.0000	263.0000	
T4	2	314.5000	314.5000	314.5000





T5	2		372.0000	372.0000
T3	2		386.5000	386.5000
T6	2			469.0000
T1	2			481.5000
Sig.		.185	.174	.057

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000.

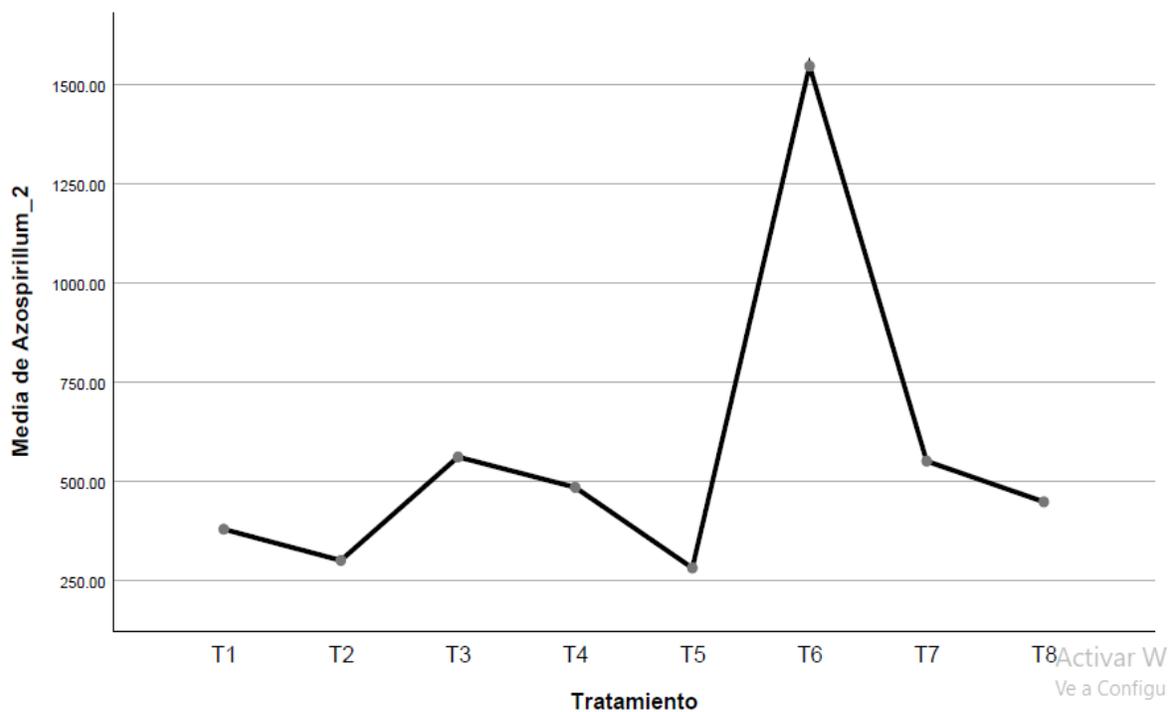


Figura 11. UFC/g Suelo de *Azospirillum* después de las inoculaciones





Cuadro 10 Comparación de medias de la variable *Azospirillum* después de la inoculación.

Azospirillum\_2

HSD Tukey<sup>a</sup>

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T5	2	282.0000	
T2	2	301.0000	
T1	2	379.5000	
T8	2	448.5000	
T4	2	485.0000	
T7	2	551.0000	
T3	2	561.5000	
T6	2		1545.5000
Sig.		.453	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000.

En la comparación de medias de la variable *Azospirillum*, las Figuras 10 y 11, nos permite observar el incremento de UFC/g Suelo notoriamente en el tratamiento 6. Duarte en el 2020 describe que estas bacterias cuando se asocian a raíces de plantas, ayudan en la producción y productividad del cultivo y Pedraza en el 2002, cita que el interés agronómico por dicho





género se basa en los beneficios potenciales que presentan algunas cepas para ser utilizadas como biofertilizante.





## CAPÍTULO 5. Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas implementadas, se puede concluir que:

La presencia de BPCV ayudan a propiciar las condiciones de pH y CE del suelo, favorables para el desarrollo de cultivos.

Las BPCV actúan como biofertilizantes y bioplaguicidas, por lo cual se tiene una menor incidencia de microorganismos fitopatógenos.

Se recomienda utilizar una fuente de carbono como alimento de los microorganismos e incrementar el número de colonias.

Dar continuidad al proyecto para poder establecer las UFC/g de BPCV con relación al pH y CE, ya que dadas las condiciones de la pandemia no permitieron dar seguimiento de una manera efectiva.





## CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

Bowen, G., & Rovira, A. (1999). The Rhizosphere and Its Management To Improve Plant Growth. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (págs. 1-102). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308604253>

Fernandes Domingues Duarte, C., Cecato, U., Trento Biserra, T., Mamédio, D., & Galbeiro, S. (2020). *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 223-240.

Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., ... Segura, A. (2006). *La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos*. Santa Catarina, Brasil.

Alexander, M. (1980). *Introducción a la microbiología del suelo*. Mexico.

Bashan, Y., Bashan, L., Prabhu, S., & Hernandez, J. (2013). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives. *Plant and Soil*.

Caballero, J. (2005). *El género Azospirillum*. Morelos: UNAM.

Camelo, M., Vera, S., & Bonilla, R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 159-166.

Castellano, M., Espinosa, C., & Fernandez, M. (2015). Uso de *Azospirillum* en la agricultura. *Revista científica Agro ecosistemas*, 3.

Coyne, M. (2000). *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. España: Paraninfo.

Coyne, M. (2000). pH del suelo. En *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio* (págs. 149-150). España: Paraninfo.

Creus, C. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aun requiere ser ensamblado. *Argent Microbiol*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.07.001>





- Cristiano. (5 de Abril de 2021). *Microbiología*. Obtenido de Factores ambientales para el crecimiento microbiano. : <https://microbiologia.net/microbiologia/factores-ambientales-para-crecimiento-microbiano/>
- Delgado, Y., Cupull, R., Pérez, C., Sánchez, A., & Vilchez, M. (2003). Efecto de *Azotobacter* spp. en la estimacion de la germinacion y el desarrollo de posturas de *Cofea arabica* L. *Centro Agrícola*.
- E.A., A. (7 de Mayo de 2016). *ClubEnsayos*. Obtenido de <https://www.clubensayos.com/Ciencia/FASES-DE-CRECIMIENTO-MICROBIANO-A-A-D/3360696.html>
- EcuRed. (29 de Agosto de 2019). *Microorganismos del suelo*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/index.php?title=Microorganismos\\_del\\_Suelo&oldid=3531968](https://www.ecured.cu/index.php?title=Microorganismos_del_Suelo&oldid=3531968)
- FAO. (2008). *An international technical workshop Investing in sustainable crop intensification: The case for improving soil health*. Roma. Obtenido de <https://www.fao.org/ag/save-and-grow/es/3/index.html>
- Flores, M. Á. (2009). Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos. *InfoAgro*.
- González, J. (20 de Febrero de 2007). *El suelo: integracion de componentes minerales y organicos*. Real Academia Nacional de Farmacia. Obtenido de <https://www.analesranf.com/index.php/aranf/article/view/89>
- Grageda Cabrera, O. A., Diaz Franco, A., Peña Cabriales, J. J., & Vera Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *SCielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000600015](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015)
- HANNA instruments. (s.f.). Recuperado el 2020, de <https://hannachile.com/hi9835-medidor-portatil-para-ce-tds-nacl-celsius>
- Holguin , G., Bashan, Y., & Ferrera-Cerrato, R. (1996). *Interacciones entre plantas y microorganismos beneficos: procedimiento para el*





*aislamiento y caracterización de hongos micorrizicos y rizobacterias promotoras de crecimiento en plantas.* Terra.

- Ingraham, J., & Ingraham, C. (1998). Los microorganismos en la biosfera. En J. Ingraham, & C. Ingraham, *Introducción a la microbiología* (pág. 707). Barcelona: REVERTE.
- Ingraham, J., & Ingraham, C. (1998). Los organismos del suelo. En J. Ingraham, & C. Ingraham, *Introducción a la microbiología* (pág. 708). Barcelona: REVERTE.
- Kole, M., Page, W., & Altosaar, I. (1988). *Distribution of Azotobacter in Eastern Canadian soils and in association with plant rhizospheres.*
- León González, Y., Hernández Martínez, J., Rodríguez López, N., & Martínez Viera, R. (Abril-Junio de 2012). *SCIELO*. Recuperado el 2022, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362012000200004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362012000200004)
- Navarro, C., & Navarro, S. (2003). *Química Agrícola*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Nogales, B. (2005). La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. *Ecosistemas*, 41-50.
- Nogales, B. (2005). La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. *Revista Científica y Técnica de Ecología y medio ambiente: Ecosistemas*, 41-51.
- Pedraza, R. O. (2002). *Caracterización y distribución de Azospirillum spp. en la región cañera de la provincia de Tucumán, Argentina*. Tucumán: Sociedad Iberoamericana de Información Científica.
- Rebolledo, S. (Marzo de 2017). *Redagricola*. Obtenido de <http://www.redagricola.com/cl/conductividad-electrica-salinidad/>
- Rodríguez, J., Ríos, Y., & Baro, Y. (2016). *Efectividad de cepas de Azotobacter spp. y Bacillus spp. para el control de especies fungicas asociadas a hortalizas*. La Habana: INIFAT, ISV.
- SACSA. (03 de Julio de 2015). *Grupo SACSA*. Obtenido de <http://www.gruposacsa.com.mx/los-cinco-componentes-del-suelo/>
- Sangoquiza Caiza, C., Viera Tamayo, Y., & Yáñez Guzmán, C. (2018). Respuesta biológica de aislados de *Azospirillum spp.* frente a diferentes tipos de estrés. *Centro Agrícola*, 40-46.





**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

Serrano Berrios, C., & Gutierrez , R. (2018). *Manual de Microbiología*. Chile:  
Universidad catolica de chile.





## CAPÍTULO 7. ANEXOS



Anexo 1. Toma de muestras de suelo



Anexo 2. Determinación de pH del suelo





Anexo 3. Muestras de suelo del sitio Aquiles Serdán





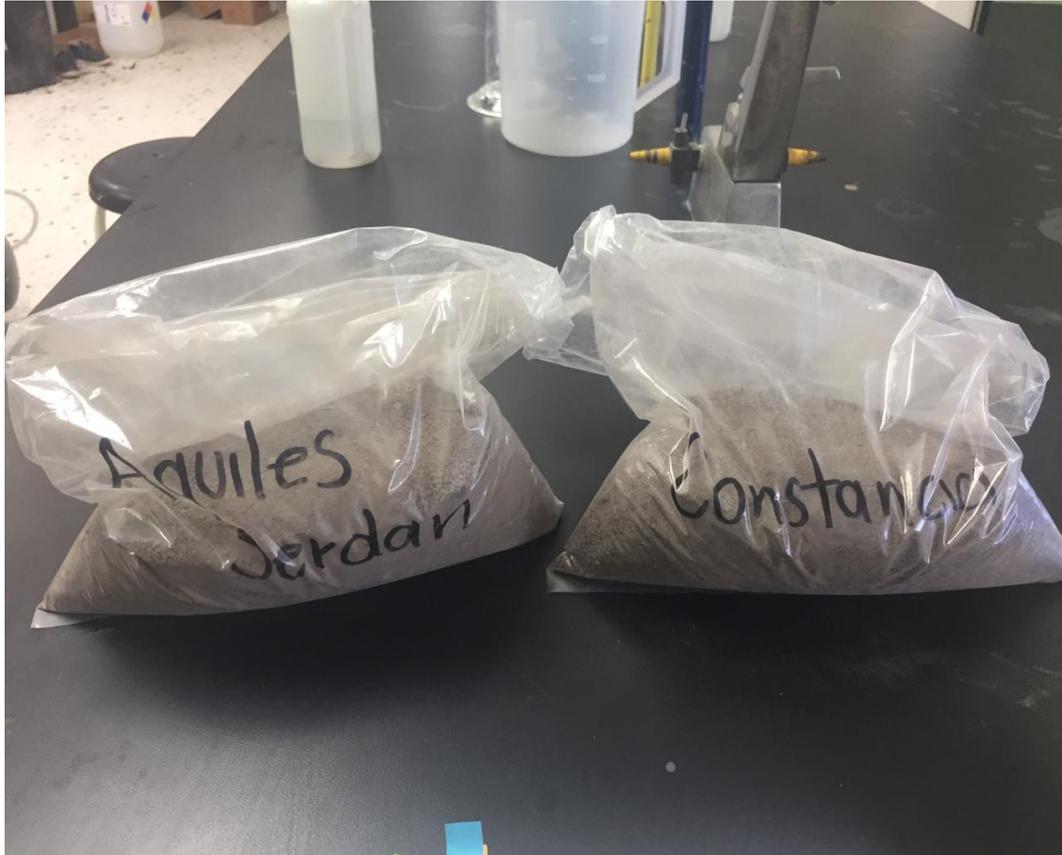
Anexo 4. Plantación de fresas





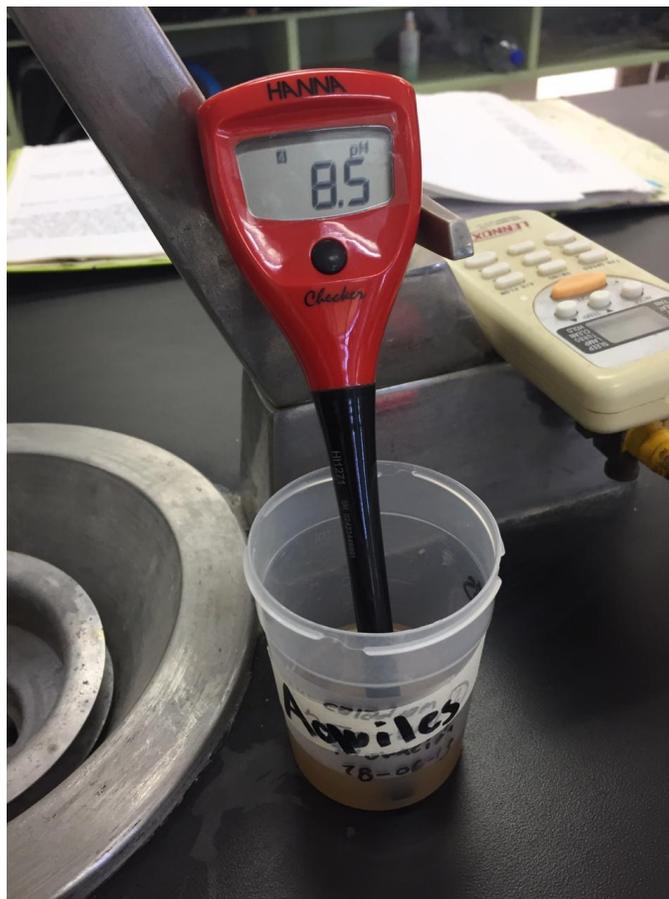
Anexo 5. Establecimiento del cultivo de fresa





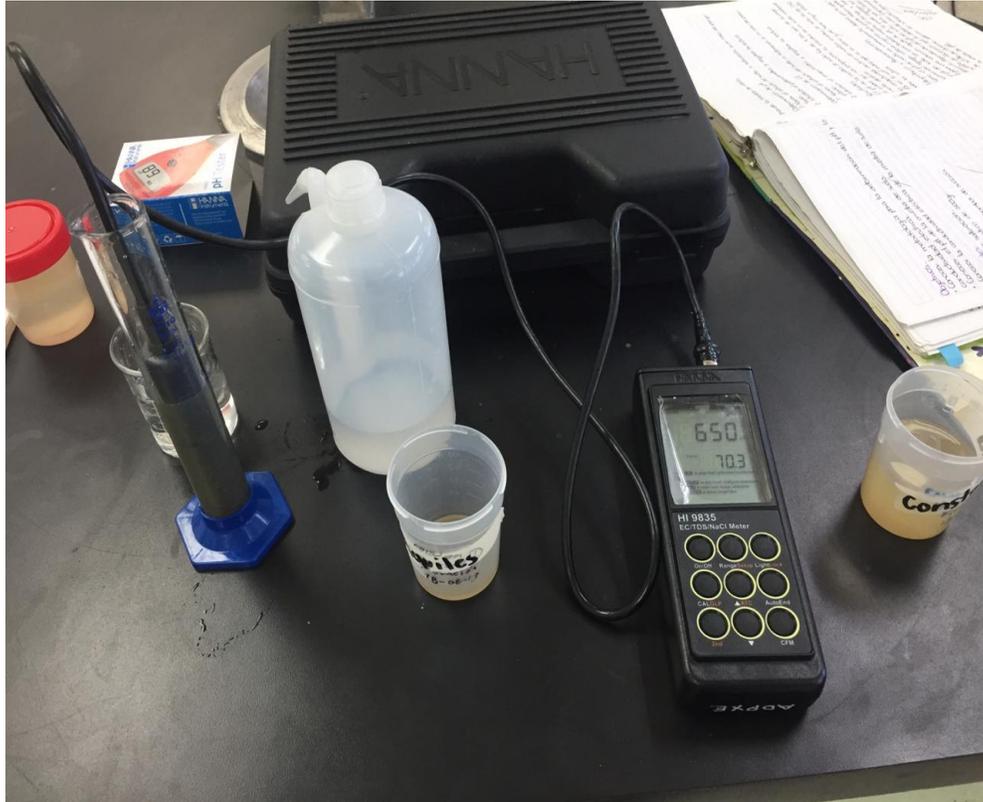
Anexo 6. Muestras de suelo



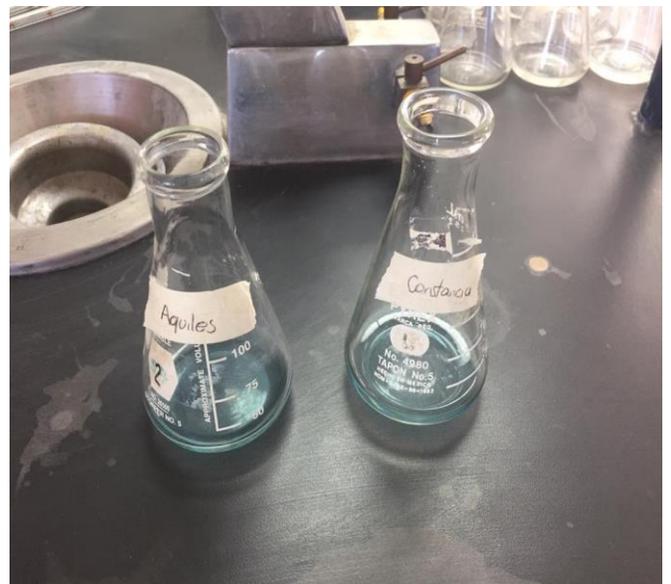


Anexo 7. Determinación del pH en el laboratorio





Anexo 8. Determinación de CE del suelo





Anexo 9. Realización de análisis físico, químicos y microbiológicos del suelo

