

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE

FITOMEJORAMIENTO



Aplicación de Dos Inoculantes de Biofertilizantes Solubilizadores  
de Fósforo a Base de Hongos en el Cultivo de Tomate  
(*Solanum lycopersicum*) Bajo Invernadero

Por:

**HUMBERTO ALEJANDRO AGUILAR SÁNCHEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCION**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aplicación de Dos Inoculantes de Biofertilizantes Solubilizadores  
de Fósforo a Base de Hongos en el Cultivo de Tomate  
(*Solanum lycopersicum*) Bajo Invernadero

Por:

**HUMBERTO ALEJANDRO AGUILAR SÁNCHEZ**

TESIS

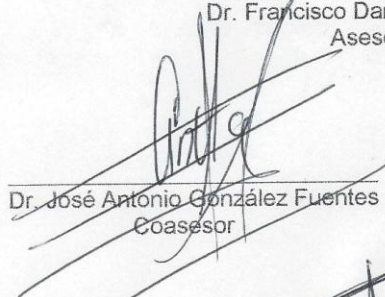
Presentada como requisito parcial para obtener el título de

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCION**


Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Francisco Daniel Hernández Castillo  
Asesor Principal



Dr. José Antonio González Fuentes  
Coasesor



Ing. Martín Alejandro Tucuch Pérez  
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Mayo, 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por guiarme en los momentos difíciles y llenarme de bendiciones, estar conmigo en cada momento de mi vida.*

*A mi segunda casa que me formo como profesionista me brindo grandiosas experiencias, realizo mis grandes sueños a ti Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.*

*Al Dr. José Antonio que me brindó la oportunidad de guiarme y apoyarme darme consejo de motivación para terminar el proyecto.*

*Al Dr. Armando por el tiempo que se tomó y compartir las ideas para realizar el proyecto.*

*Al Ing. Martin Tucuch Pérez por ser amigo y brindarme la confianza, apoyarme en todo momento para culminar el proyecto.*

*Al Dr. Francisco Daniel Hernández Castillo por sus apoyo y llevar acabo la presentación del trabajo final del proyecto.*

*A todo el equipo académico que me otorgo las experiencias para formarme como profesionista,*

*Al Dr. Martin Tucuch Cauich por brindarme su apoyo, confianza y consejos para realizar el proyecto es un ejemplo a seguir.*

*A la empresa Greencorp por brindarme la confianza en realiza la investigación.*

*A mis compañeros que formaron parte de este viaje con muchas aventuras, dificultades que nos convertimos en una familia de hermanos que los apoyábamos en cada momento sin importa el tiempo que fuera y cada experiencia los volvió más fuerte a Ronay, Francisco, Jasso, Chican, Bonilla, Daniel, Gilberto, Bonifacio, Abraham, Eustrain, Liz, Diana que como todo tiene un principio hay un final gracias por ser parte de la historia más grandiosa de mi vida los encontraremos algún día, mientras tanto cuídense sea feliz en su vida y mucho éxito.*

*“Tu tiempo es limitado, no lo malgastes viviendo la vida de alguien distinto, no quedes atrapado en el dogma, el cual es vivir como otros piensan que deberías vivir, no dejes que los ruidos de las opiniones de los demás callen tu propia voz interior, y lo más importante, ten el coraje para hacer lo que te dice tu corazón y tu intuición, ellos ya saben de algún modo en que quieres convertirte realmente, todo lo demás es secundario”*

*Steve Jobs*

## DEDICATORIAS

*La vida es una historia, no tengas miedo el escribir la tuya.....*

*A un ángel que cada día recuerdo y que nunca olvido sus palabras, sonrisas, regaños pero todo eso encierra a una persona que se encuentra en un lugar mejor, donde observa cada paso de mi vida gracias a él que me enseñó a ser una persona con metas para lograrlas y no darme por vencido, aunque ya ha pasado mucho tiempo de tu partida sé que te encontrare algún día ya sea de este lado de la vida o la que sigue, te agradezco por cada momento conmigo te quiero mucho nunca te olvidare mi querido papá llegara el momento donde recuperemos cada momento que estuvimos lejos uno de otro, no fue un adiós solo una espera para estar juntos gracias a ti Humberto Aguilar Hernández por decirme que en la vida todo es posible siempre cuando uno lo desee y lo busque.*

*A ti madre mía Candelaria Sánchez Guillen que me diste la oportunidad de crecer a tu lado, donde me exigías que nunca dejara mis metas en la vida, que me enseñaste de los errores se aprende y que la vida sigue después de las tormentas, gracias por tu amor que es complicado de entender pero sé que me adoras con todo tu alma.*

*A mis hermanos Fabiola Aguilar Sánchez y Luis Enrique Aguilar Sánchez cada momento donde lo juntamos para reírlos de los momentos felices que vivimos, por su cariño que me demostró que aunque estemos lejos siempre habrá recuerdos que los unen.*

*A mi tía Yolanda Aguilar Hernández que es mi mamá que me adopto en su familia en sus bendiciones, que me dio todo el amor para cumplir mis sueños*

*que se preocupaba por cada paso de mi vida, gracias a su consejos aprendí que hay que ser feliz y responsables nunca guarda cosas de pasado que la vida sigue hay que lucharle cada momento la quiero mucho la adoro por tenerla como mi mamá.*

*A mi hermanita Daniela Aguilar Gonzales que adoro, admiro, quiero mucho, por ser esa persona que estuvo conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, que me dio la oportunidad de ser su hermano gracias por todo su cariño motivaciones y que confió en mi para que cumplieras mis sueños es una parte fundamental de mi vida te quiero mucho siempre aunque estemos lejos uno del otro tú serás mi hermana a la que adoro.*

*A mi familia primos y tíos que me brindaron su apoyo, consejos de la vida.*

## ÍNDICE

RESUMEN.....	I
DEDICATORIAS.....	III
AGRADECIMIENTO.....	V
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Historia del cultivo.....	4
2.2 Clasificación taxonómica.....	4
2.3 Característica botánicas.....	4
2.3.1 Planta.....	4
2.3.2 Semilla.....	5
2.3.3 Sistema radicular.....	5
2.3.4 Tallo.....	5
2.3.5 Hojas.....	6
2.3.6 Flores.....	6
2.3.7 Fruto.....	6
2.4 Calidad del fruto.....	7
2.5 Requerimientos edafoclimáticos.....	7
2.5.1 Temperatura.....	8
2.5.2 Luz y fotoperiodo.....	8
2.5.3 Humedad relativa.....	9
2.5.4 Suelo.....	9
2.6 Importancia del tomate.....	9
2.6.1 Importancia económica.....	10
2.6.1.1 Producción a nivel mundial.....	10
2.6.1.2 Producción en México.....	11
2.7 Fosforo.....	12

2.7.1 Historia del fosforo.....	12
2.8 Importancia del fosforo en la agricultura.....	13
2.8.1 Fosforo en suelo.....	13
2.8.2 Problemática del fosforo.....	14
2.8.2.1 Problemática del fosforo el suelo.....	14
2.8.2.2 Disponibilidad futura del fosforo.....	16
2.8.2.3 Contaminación de fertilizantes fosfatados.....	17
2.9 Las fuentes de fertilizantes de fosforo.....	17
2.9.1 Roca fosfórica.....	17
2.9.2 MAP.....	18
2.9.3 Fertilizante liquido de fosforo (08-24-00).....	18
2.10 Agricultura orgánica.....	19
2.10.1 Agricultura orgánica en el mundo.....	20
2.10.2 Agricultura orgánica en México.....	21
2.11 Biofertilizantes.....	22
2.11.1 Microorganismo solubilizadores de fosforo.....	23
2.11.2 Hongos como biofertilizantes.....	24
2.11.2.1 Hongos solubilizadores de fosforo.....	24
2.11.2.1.1 <i>Aspergillus niger</i> .....	26
2.11.2.1.2 <i>Penicillium sp.</i> .....	27
2.11.2.3 Mecanismo de solubilizadores de fosfatos.....	28
2.11.3.1 Ácidos orgánicos.....	28
2.11.3.2 Fitasas.....	30
III. MATERIALES Y METODOS.....	32
3.1 Localización geográfica del trabajo de investigación.....	32
3.2 Material genético.....	32
3.3 Tratamientos.....	32
3.4 Inoculación.....	33
3.5 Establecimiento del experimento.....	33
3.6 Manejo agronómico.....	33
3.6.1 Riego.....	34



3.6.2 Nutrición.....	34
3.6.3 Tutorio.....	34
3.6.4 Manejo de plagas y enfermedades.....	34
3.6.5 Cosecha.....	35
3.7 Colecta de datos.....	35
3.7.1 Muestreos.....	35
3.7.2 Variables evaluadas.....	36
3.8 Diseño experimental.....	36
IV. RESULTADOS.....	37
4.1 Análisis de fertilidad.....	40
4.2 Análisis foliar .....	42
V. DISCUSION.....	45
VI. CONCLUSIONES.....	47
VII. BIBLIOGRAFÍAS.....	48
APENDICE.....	65

## ÍNDICES DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Principales países productores de tomate (fresco) en 2013.....	10
<b>Cuadro 2.</b> Principales países exportadores de tomate (fresco) en 2013.....	11
<b>Cuadro 3.</b> La producción de los estados de México 2014.....	11
<b>Cuadro 4.</b> Composición porcentual del fertilizante (08-24-00).....	19
<b>Cuadro 5.</b> Los países con mayor extensión de tierras agrícolas orgánicas...	20
<b>Cuadro 6.</b> Los géneros de hongos solubilizadores de fosfato (HSF).....	25
<b>Cuadro 7.</b> Producción de ácidos orgánicos por los principales hongos solubilizadores de fosforo.....	29
<b>Cuadro 8.</b> Descripción de los tratamientos del experimento.....	32
<b>Cuadro 9.</b> Requerimiento nutricional aplicado al experimento.....	34
<b>Cuadro 10.</b> Productos para el control de plagas y enfermedades.....	35
<b>Cuadro 11.</b> Variables evaluadas, abreviación utilizada y forma de evaluación.....	36
<b>Cuadro 12.</b> Efectos de los biofertilizantes y las fuentes de P en la producción de biomasa, longitud de raíz y volumen de raíz en plantas de tomate cv. Rio fuego.....	37

## ÍNDICES DE FIGURA

<b>Figura 1.</b> El efecto que tiene el pH del suelo en la disponibilidad de fosforo (P).....	15
<b>Figura 2.</b> Curva de disociación de fosfatos y el efecto del pH del suelo sobre la disponibilidad del fosforo (P).....	15
<b>Figura 3.</b> Desarrollo de la agricultura orgánica, a nivel mundial, mostrando su crecimiento entre los años 1999 – 2014, en millones de hectáreas.....	20
<b>Figura 4.</b> La acción de la fitasa liberación de ortofosfato de ácido fítico.....	31
<b>Figura 5.</b> Efecto de la interacción de los inóculos de Biofertilizantes con fuentes de P sobre el peso seco de la parte aérea de la plantas de tomate cv. Rio fuego. Las barras indican el error estándar de las medias.....	38
<b>Figura 6.</b> Efecto de la interacción de los inóculos de Biofertilizantes con fuentes de P sobre la biomasa de la plantas de tomate cv. Rio fuego. Las barras indican el error estándar de las medias.....	38
<b>Figura 7.</b> Raíces de las plantas inoculadas con los Biofertilizantes y testigos sin inocular, con la aplicación de fertilizante MAP.....	39
<b>Figura 8.</b> Raíces de las plantas inoculadas con los Biofertilizantes y testigos sin inocular, con la aplicación de fertilizante liquido (08-24).....	39
<b>Figura 9.</b> Raíces de las plantas inoculadas con los Biofertilizantes y testigos sin inocular, con la aplicación de fertilizante RF.....	40
<b>Figura 10.</b> Análisis de fertilidad de Fósforo del suelo agricola donde se realizo el trabajo de investigación.....	40
<b>Figura 11.</b> Análisis de fertilidad de Nitrogeno del suelo agricola donde se realizo el trabajo de investigación.....	41

<b>Figura 12.</b> Análisis de fertilidad de Potasio del suelo agrícola donde se realizo el trabajo de investigación.....	41
<b>Figura 13.</b> Analisis de fertilidad de Calcio del suelo agrícola donde se realizo el trabajo de investigación.....	42
<b>Figura 14.</b> Analisis foliar de nitratos en la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P.....	42
<b>Figura 15.</b> Analisis foliar de fosfatos en la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P.....	43
<b>Figura 16.</b> Analisis foliar de Calcio en la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P.....	43
<b>Figura 17.</b> Analisis foliar de los minerales de la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P.	44

## RESUMEN

El uso de microorganismos benéficos se ha incrementado a tal grado que en la actualidad se ha generado todo un movimiento comercial de los mismos, de modo que la producción y comercialización de los productos de biofertilizantes está encaminados al fortalecimiento de sistemas de producción sostenible.

El cultivo del tomate en México tiene una trascendencia social muy importante pues es para la población una importante fuente de ingresos económicos, eso debido en gran parte a que nuestro país está ubicado como el tercer exportador de tomate a nivel mundial.

El fósforo (P) es después del nitrógeno (N) el elemento que más afecta el desarrollo y la productividad de las plantas. Sin embargo este elemento presenta problemas en su uso como fertilizante, principalmente baja movilidad y bajas concentración del en los suelos. Cerca de 90% del P utilizado como fertilizante se precipita como formas insolubles de fosfato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ ) en suelos alcalinos, y fosfato de hierro ( $\text{Fe PO}_4$ ) o fosfato de aluminio ( $\text{Al PO}_4$ ) en suelos ácidos, esto ocasiona que el contenido de P en los suelos generalmente sea muy bajo si se compara con la de otros nutrientes. Es por ello que se hace necesaria la aplicación excesiva de fertilizantes fosforados a los suelos con el objetivo de suplir la demanda de este nutriente por parte de las plantas, este exceso en la aplicación de P incrementa a su vez la pérdida potencial por escurrimiento superficial. Afortunadamente se ha reportado que diversos microorganismos, dentro los que se encuentran los hongos, tienen la capacidad de solubilizar el P y volverlo disponibles para las plantas. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el uso de dos prototipos de biofertilizantes a base de hongos solubilizadores sobre tres fuentes diferentes de P en plantas de tomate cv. Rio fuego.

En el presente trabajo se evaluó la interacción de dos inoculantes, un testigo y tres fuentes de P (Roca fosfórica, 08-24 y MAP), obteniéndose por lo tanto 9 tratamientos con 4 repeticiones. El trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero, iniciando la siembra en charolas el día 14 de mayo del 2014, posteriormente el 29 julio se realizó

el trasplante en macetas. Se colocó una planta por maceta, obteniéndose un total de 36 distribuidas bajo un diseño completamente al azar. Se realizaron tres aplicaciones de los prototipos de biofertilizantes y un manejo agronómico con productos orgánicos certificados. Durante el experimento se evaluaron diversas variables de crecimiento, al iniciar la cosecha se realizaron tres cortes y finalmente se obtuvo la biomasa seca. Se realizó también muestreos de suelo al inicio, a los 76 ddt y al finalizar el experimento para su análisis de fertilidad, además se realizó un muestro de hoja al finalizar el experimento para su análisis foliar.

La interacción del inoculo2 con fertilizante liquido (08-24) y MAP, favorecen el crecimiento de la biomasa del cultivo, dado que se obtuvo un incremento significativo en el peso seco de la parte aérea de la planta en relación al testigo absoluto. Además con ambos inóculos se presentó un incremento de P a los 72 ddt con aplicación de MAP. Por lo tanto la incorporación de organismos benéficos a través de los inóculos evaluados podría ser de utilidad para la aplicación en un manejo agronómico de tomate bajo invernadero.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, biofertilizantes, hongos solubilizadores, fósforo.

Correo electrónico; Humberto Alejandro Aguilar Sánchez, [betoo\\_109@hotmail.com](mailto:betoo_109@hotmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

Hay una gran importancia de los retos que implica sostener el suministro de fósforo necesario para mantener la demanda de alimentación que proviene del incremento de la población mundial (Cordell, 2010). El fósforo aplicado en cantidades que exceden la requerida por los cultivos se acumula en los perfiles del suelo. Sin embargo, cuando la capacidad de absorción de los suelos se satura, el transporte vertical del fósforo, a través del perfil del suelo, provoca la contaminación de aguas subterráneas (Chardon, 2007).

La agricultura orgánica (Pérez y Landero, 2009) lo describe como una aportación de abonos orgánicos, prácticas agrícolas para restablecer y mantener un balance ecológico de la biodiversidad. Algunos autores señalan como un medio de sustentabilidad que trata de cambiar los retos de la producción convencional y más que una tecnología en la producción, es una alternativa para obtener un mejor manejo del suelo donde impulsa al uso de insumos locales (Espinoza et al., 2007). Así mismo, menciona Gómez et al. (2008) que surgió como una alternativa para proteger el medio ambiente y las diferentes especies de plantas y animales de los peligros de la agricultura convencional o moderna. Gómez (2009) indica que en México se va aumentando la producción orgánica, por encima de la media internacional, un ejemplo que se da es el caso del café orgánico, ya que el México se ha convertido en el primer productor mundial. A la vez ya existen más de 50 cultivos orgánicos de los cuales su origen es agrícola y pecuario y la producción continúa variando.

Expone Gómez et al. (2010) que en México la agricultura orgánica se vincula en mayor medida a pequeños agricultores caracterizados por su estado de pobreza y de marginación (de 128,862 productores orgánicos ubicados, 99.95 % son pequeños agricultores, 82.77 % pertenece a algún grupo indígena y el 34.6 % son mujeres).

FAO (2013) señala que China el primer productor en el mundo le sigue la India como segundo productor mundial de tomate, el tercer lugar se encuentra

Estado Unido de América (Cuadro 1). Así mismo, la FAO (2015) menciona que México ocupó el décimo lugar a nivel mundial.

En México, el tomate es un cultivo con tradición donde se sostiene económicamente a familias, cuyo consumo es cotidiano, además por su importancia en las siembras y volúmenes producidos. La situación geográfica de México y la utilización de tecnologías permiten la explotación en dos ciclos agrícolas: Otoño-Invierno donde se produce el 55 %, y el resto en Primavera-Verano; en zonas de riego se produce 85 % y el 25% en áreas de temporal (Díaz, 2004).

Aguirre *et al.* (2009) señala que los biofertilizantes contiene microorganismos del suelo que realizan simbiosis e forma directa o indirectamente al sistema radical de las plantas, para favorecer un incremento en el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta. Armenta *et al.* (2010) indica que la aplicación favorecen a las plantas, para poder sustituir la fertilización sintética, y por consiguiente una disminución en la contaminación de los agroquímicos. Cabrera *et al.* (2003) expone que los microorganismo inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas ayudando a su nutrición y protección, así también es afectado por el manejo de suelo y uso excesivo de agroquímicos.

El uso de biofertilizantes en agricultura expone SAGARPA (2013) que tiene dos principales ventajas una ecológica y la otra económica, de lo cual menciona que los fertilizantes químicos se usan en muchos casos en forma excesiva, así mismo señala los microorganismos tiene la función de fijar N, también solubilizan el P, y que crecen en contacto con las plantas.

No se han realizado muchos estudios donde señale la efectividad del uso de los hongos solubilizadores de fósforo a beneficio del desarrollo y crecimiento del cultivo de tomate, que es una importante hortaliza de los mercados internacionales. Por lo anteriormente expuesto, se planteó la presente investigación, con el siguiente objetivo e hipótesis:



## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la efectividad generalizada de dos biofertilizantes formulados a base de hongos solubilizadores de fosforo en el cultivo de tomate.

## **HIPÓTESIS**

Los inoculantes de los biofertilizantes solubilizadores de fosforo mostrara una respuesta más efectiva en las variables evaluadas.

H0. No existe interacción de los biofertilizantes solubilizadores de fósforo y las fuentes de fósforo

H1. Si existe interacción de los biofertilizantes solubilizadores de fósforo y las fuentes de fósforo

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Historia del cultivo

La región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile es considerada el centro de origen del género *Lycopersicon* (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). Smith (1994) señala que el tomate es originario de los Andes del Perú, donde apareció silvestre como una fruta redonda de color rojo, posteriormente se esparció a lo largo de Sudamérica desde donde continuo su difusión hasta américa central, allí lo llamaron xitomatl en el lenguaje Nahuatl, de donde derivo actualmente al nombre de jitomate. A la llegada de los españoles a América el tomate ya formaba parte de los pequeños huertos de hortalizas del área mesoamericana (Corominas, 1990).

Los tomates fueron domesticados en América, sin embargo, el sitio original donde esto ocurrió se desconoce. Los primeros acontecimientos de domesticación han sido poco estudiados (Peralta y Spooner, 2007). Aunque la prueba definitiva para el tiempo y lugar de la domesticación se desconoce, se presume que es México la región más probable de la domesticación y Perú como centro de diversidad para los parientes silvestres (Larry y Joanne, 2007).

### 2.2 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledónea)

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanáceas

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum*

Fuente: ITIS of North Américas

## **2.3 Características botánicas**

### **2.3.1 Planta**

El tomate (*Solanum lycopersicum*) una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las Solanáceas (Ríos *et al.*, 2003; Cueto, 2010). De acuerdo con Hernández (2011) las plantas de tomate son herbáceas perennes, aunque en su hábitat natural se comportan como anuales y pueden morir después de la primera estación de crecimiento debido a las heladas o la sequía.

### **2.3.2 Semilla**

La semilla del tomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4.2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forma una yema apical, dos cotiledones, el hipocotilo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable (Castellanos, 2009).

### **2.3.3 Sistema radicular**

La planta presenta una raíz principal pivotante que alcanza los 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Sin embargo, este sistema radical puede ser modificado por las prácticas culturales de tal forma que cuando la planta procede de un trasplante la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal donde las raíces laterales y adventicias crecen tanto como la principal (Curtís, 1996; Rodríguez *et al.*, 2001).

### **2.3.4 Tallo**

El tallo presenta ramificación dicotómica, es epigeo, erguido con 0.4 a 2 m de altura, cilíndrico cuando joven y posteriormente anguloso, de consistencia herbácea a algo leños, con pubescencias, con duración anual (Garza, 1985). El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una disposición espacial de 2/5. El crecimiento subsiguiente se da a partir de la yema axilar de la última hoja, desarrollando un tallo secundario, que crece como una prolongación del tallo primario desplazando lateralmente la inflorescencia. El aspecto es de un tallo principal que crece de forma continua con inflorescencias internodales laterales cada 3 hojas, si este proceso se repite indefinidamente las cultivares se denomina indeterminados, los cuales son muy adecuados para los invernaderos (Nuez, 2001).

### **2.3.5 Hojas**

Las hojas son compuestas, insertadas sobre los diversos nudos y alternadas, el limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos, están provistas de glándulas secretoras de una sustancia aromática (Rodríguez et al., 2001). Los bordes de las hojas son dentados recubiertos de pelos glandulares, presenta un haz de color verde y el envés de color grisáceo, la disposición de nervaduras en los folíolo es penninervia (Garza, 1985). El mesofilo o tejido parenquimatoso está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos, la epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada es rica en cloroplastos, los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal (Nuez, 1999).

### **2.3.6 Flores**

La flor forma inflorescencias de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bipara y cima múltipara; puede llegar hasta 50 flores por inflorescencia. La flor

se conforma por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola, con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán lugar a los lóculos o celdas del fruto aromáticas (Rodríguez *et al.*, 2001).

### **2.3.7 Fruto**

Según Cantwell (2004) el tomate es un fruto carnoso que procede de un carpelo único o del gineceo sincárpico de una flor sencilla; se considera en términos botánicos como una baya, puesto que posee una piel fina que rodea una carne jugosa, en cuyo interior se encuentran muchas semillas. El fruto puede tener un color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redonda, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada, con tamaños variables según la variedad. En sección transversal se aprecia en el tomate la piel, la pulpa firme, el tejido placentario y la pulpa gelatinosa que envuelve a las semillas (Rodríguez *et al.*, 2001). Está unido a la planta por un pedicelo o un engrosamiento articulado que contiene la cepa de abscisión. En la cosecha la separación del fruto se puede realizar por la zona de abscisión o por la zona pedúnculo del fruto. En las variedades industriales la presencia de parte del pedicelo es indeseable, por lo que son preferibles los cultivares que se separan fácilmente por la zona pedúnculo (Nuez, 2001).

### **2.4 Calidad del fruto**

La calidad comercial comprende los aspectos relacionados con la presentación externa. La calidad del fruto está principalmente relacionada con su color, forma, tamaño, ausencia de defectos, firmeza y sabor, unidos a su capacidad de almacenamiento y resistencia al transporte. (Nisen *et al.*, 1990). Suslow y Cantwell (2000) mencionan que la calidad del tomate estándar se basa

principalmente en la uniformidad de la forma y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. El tamaño del fruto no se define por el grado de calidad pero puede influir en el mercado. Los indicadores básicos para índices de cosecha son: forma (los frutos deben estar bien formados, esto de acuerdo a su genética, redondo, globosa aplanada u ovalada, dependiendo del tipo) color (el color debe ser uniforme ,anaranjado-rojo a rojo intenso, amarillo claro), apariencia (lisa y con las cicatrices pequeñas correspondientes al punto floral y al pedúnculo) y ausencia de grietas de crecimiento, cara de gato (*catfacing*), quemaduras de sol, daños por insectos y daño mecánico magulladuras.

## **2.5 Requerimientos edafoclimáticos**

Los principales agentes del medio físico, como la temperatura, la luz y la humedad juegan un papel importante para que los procesos fisiológicos de cuajado y amarre de fruto se produzcan de forma normal (Maroto, 2002). El manejo en conjunto de los factores climáticos es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados. Existen tres factores climatológicos que ejerce una gran influencia sobre el cultivo y que merecen una consideración especial: temperatura, humedad y luminosidad (Castellanos, 2009).

### **2.5.1 Temperatura**

Es una planta de clima cálido que requiere de mucho calor y las temperaturas óptimas son las siguientes: nocturnas entre 15 y 18 °C, temperaturas diurnas 24 a 25 °C, y temperatura ideal en la floración de 21 °C (Rodríguez *et al.*, 2001). La temperatura óptima para la maduración del fruto es entre 18-24 °C (Salunkhe y Kadamm, 1998), por otro lado si la temperatura es menor a 13 °C los frutos tienen una maduración muy pobre, situación similar sucede cuando la temperatura es mayor a 32 °C debido a que la coloración roja (licopeno) es inhibida y los frutos se tornan amarillos (Valadéz, 1990). El mayor desarrollo

vegetativo en el tomate se consigue con temperaturas diurnas de 23 °C y temperaturas nocturnas de 17 °C (Maroto, 2002).

### **2.5.2 Luz y fotoperiodo**

La luminosidad tiene gran influencia tanto en la fotosíntesis como en el fotoperiodismo, así como en el crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos; el rendimiento de fruto esta positivamente relacionado con la cantidad de radiación solar recibida por el cultivo y el ciclo del mismo (Wien, 1997; Rodríguez *et al.*, 2001). Los niveles óptimos de luz para el cultivo de jitomate varían de acuerdo a la etapa de desarrollo de la planta, por ejemplo, en el caso de la producción de tomate en invernadero de México se han observado como óptimos los siguientes: durante la etapa de plántula, desde emergencia hasta que alcanza a tener 4 hojas verdaderas requiere una intensidad máxima de 26900 lux; en momento de trasplante y la aparición del primer racimo floral las necesidades de luz aumenta a 43040 lux; durante crecimiento de los frutos, desde floración hasta maduración de frutos se requiere aproximadamente 53800 lux (Pérez y Castro, 1999).

### **2.5.3 Humedad relativa**

La humedad relativa óptima oscila entre un 60 y 80 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades áreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de húmeda edáfica o riego abundante tras un periodo de estrés hídrico. También la humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Pérez y Castro, 1999).

### **2.5.4 Suelo**

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo referente al drenaje. Prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. Se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados con pH ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua del riego. El mejor suelo para el cultivo de tomate es el suelto de textura silícea arcillosa y rico en materia orgánica, con pH entre 5.5 y 7.02. Lo más deseable en cuanto a suelo es que se trata de una especie con cierta tolerancia a la salinidad, de ahí que admita en cultivo suelos ligeramente salinos o el riego con agua salitrosa. (Huaral, 2002). No tolera el encharcamiento. La exigencia del tomate en cuanto a la humedad del suelo es media, influye sobre todo en el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50% y suelos no encharcados (Rodríguez *et al.*, 2001),

## **2.6 Importancia del tomate**

La comercialización y difusión han hecho que el tomate pase a formar parte a través del tiempo de la dieta de diversas culturas en el globo terráqueo, permitiendo que nuestros días ocupe el segundo lugar dentro del consumo mundial de productos hortícolas (FAS-USDA, 2001). El tomate constituye uno de los ingredientes más utilizados en la cocina de nuestro país y de una buena parte del mundo, se utiliza sobre todo en ensaladas, platillos y jugo fresco. La industria de la alimentación lo prepara en infinidad de maneras: desde jugos, purés, conservas de tomates enteros y pelados, fritos, hasta como ingredientes de diversas salsas picantes, dulces, mermeladas, esencia para la elaboración de alimentos, saborizantes y más productos (SIAP ,2014).



## 2.6.1 Importancia económica

SAGARPA (2010) señala al tomate es la hortaliza de mayor importancia en todo el mundo y la de mayor valor económico, su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. Las actividades agronómica y comercialización del tomate rojo genera 72 mil empleos directos y alrededor de 10.7 millones de empleos 29 indirectos. El valor de la producción de esta hortaliza es de 12 mil 700 millones de pesos. La situación geográfica de México y la utilización de tecnologías permiten la explotación en dos ciclos agrícolas: Otoño-Invierno donde se produce el 55 %, y el resto en Primavera-Verano; en zonas de riego se produce 85 % y el 25% en áreas de temporal (Díaz, 2004).

### 2.6.1.1 Producción a nivel mundial

FAO (2013) señala que los primeros productores de tomate a nivel mundial se encuentran China, India, Estado Unido de América (Cuadro 1). Así mismo, la FAO (2015) menciona que México ocupó el décimo lugar a nivel mundial.

**Cuadro 1.** Principales países productores de tomate (fresco) en 2013.

Posición	País	Producción (Ton)	Valor unitario (\$/Ton)
1	China	50,552,200	18,682,273.24
2	India	18,227,000	6,736,043.03
3	Estados Unidos de América	12,574,550	4,647,101.00
4	Turquía	11,820,000	3,712,971.76
5	Egipto	8,533,803	3,153,786.37

Fuente: FAO, 2013

Por otro lado FAO (2013) señala a México como el principal país exportador de tomate (fresco), seguido por Holanda y España a nivel mundial (Cuadro 2).

Posición	País	Cantidad (Ton)	Valor unitario (\$/Ton)
1	México	1,535,157	1,195.43
2	Holanda	1,013,529	1,674.54
3	España	1,004,009	1,307.93
4	Turquía	483,046	809.92
5	Francia	229,753	1,721.31

**Cuadro 2.** Principales países exportadores de tomate (fresco) en 2013.

Fuente: FAO, 2013

### 2.6.1.2 Producción en México

En México se produce jitomate durante todo el año. Durante los primeros meses del año es cuando se genera el tope de producción nacional en el estado de Sinaloa (Cuadro 3), que abastece al mercado nacional y la mitad del norteamericano. Por otro lado, durante el verano, la producción de los estados del centro y de Baja California es la que abastecen la demanda interna y de exportación. Finalmente, en los meses de agosto a diciembre son otras entidades las que cubren la producción. (SAGARPA, 2010).

**Cuadro 3.** La producción de los estados de México 2014.

Ubicación	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
<b>Sinaloa</b>	14,629.13	867,832	3,172,619.21
<b>San Luis Potosí</b>	2,646.80	196,011	1,105,553.91
<b>Michoacán</b>	5,983.50	169,768	914,201.74
<b>Jalisco</b>	2,259.20	158,561	1,357,907.88
<b>Baja California</b>	2,567.20	141,236	983,138.65

---

## Sur

---

Fuente: SIAP, 2014

En los últimos años, la producción tomatera ha aumentado en alrededor de 50%, impulsada por una mayor superficie agrícola con sistemas de agricultura protegida dado que en todos los meses del año se tiene disponibilidad de jitomate. De acuerdo con estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) durante 2014 la producción anual de tomate fue de alrededor de 2.8 millones de toneladas, en tanto que datos del Sistema Producto indican que las exportaciones ascendieron a 20 mil millones de pesos. La mayoría de la producción se exporta a Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos, con base en los altos estándares de calidad e inocuidad que han alcanzado los productores mexicanos así como en el reconocido estatus sanitario del país (SIAP, 2014).

### 2.7 Fosforo

La disponibilidad del fosforo (P) en el suelo es un factor que determina el crecimiento de la planta dado que este elemento constituye más del 0.2 % del peso seco (Banerjee *et al.*, 2010). Rubio (2002) señala que el P es después del N es el elemento más crítico para la producción agropecuaria, pero su disponibilidad es cada vez más limitada debido a la progresiva insuficiencia de sus fuentes naturales, su relativa escasez, elevada retención por parte del suelo, la falta de reposición natural y su baja movilidad comparada con la de otros nutrientes. El P se encuentra en altas cantidades en el suelo, sin embargo, el 98% de este P no está disponible para las plantas, lo cual induce deficiencias en distintos niveles de productividad y rendimiento (Awasthi *et al.*, 2011).

#### 2.7.1 Historia del fosforo

La producción de alimentos es fundamental para nuestra existencia, sin embargo, para producir alimentos es necesario la fuente de P, ya que es un ingrediente crítico en el cultivo. Hoy en día P se obtiene principalmente de la roca de fosfato, sin embargo dicho recurso se podría agotar en los próximos 50-100 años (Steen, 1998; SMIL, 2000; Gunther, 2005). Históricamente, la producción agrícola se basó en los niveles naturales de los suelos de fósforo y la adición de materia orgánica disponible localmente como el estiércol y excrementos humanos (Ma-Gérald, 1998). Sin embargo se tuvo un aumento de la demanda de alimentos debido al crecimiento rápido de la población en el siglo XX, y más tarde la roca de fosfato fue ampliamente aplicada a los cultivos alimentarios (Brink, 1977; Smil, 2000).

## **2.8 Importancia del fosforo en la agricultura**

Marschner (1995) señala que el P es uno de los 17 nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, forma parte de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos de membrana, por estar involucrado en el transporte y almacenamiento de energía en la célula en forma de ATP, y por intervenir en las reacciones de fosforilación-defosforilación que regulan el metabolismo celular.

Richardson (2001) expone que el papel que desempeña el fósforo inorgánico (Pi) en la planta es formular parte de los compuestos orgánicos en los distintos ciclos metabólicos y reacciones enzimáticas. Además ejerce una función muy importante sobre el control de los procesos de fotosíntesis y metabolismo de carbohidratos, así como también interviene en la maduración de los frutos. La concentración de Pi en las plantas se halla condicionada por la reserva del suelo.

Wisuma (2003) indica que la falta de P afecta en el alargamiento del tallo de las plantas produciendo plantas enanas, lo que provoca un retardo de la maduración, bajo rendimiento, mala calidad. En otros cultivos la deficiencia de P

tiende a hacer más susceptible las raíces a las enfermedades, produciendo menor crecimiento de la raíz para explorar el suelo por agua y nutrientes. Las plantas deficientes pueden mantener un color verde saludable pero crecerán lentamente y retardarán su madurez.

### **2.8.1 Fosforo en el suelo**

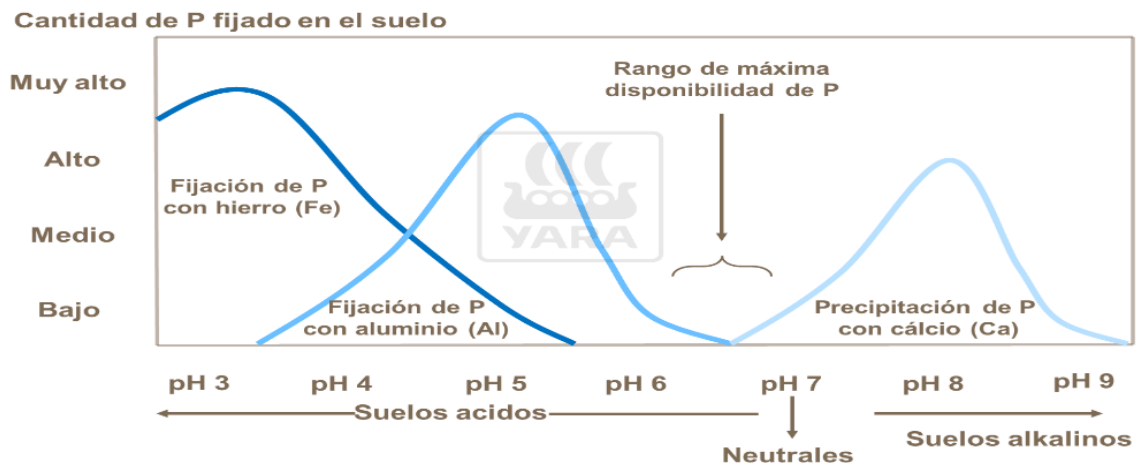
Rooney *et al.*, (2009) explica que en el suelo existen diferentes fuentes de P que pueden ser categorizadas como P inorgánico (Pi) y orgánico (Po), la distribución de las diferentes formas de P en el suelo depende de factores que incluyen tipo de suelo, pH, tipo de vegetación, actividad microbiana y entradas de fertilizantes.

El Pi se encuentra formando parte de minerales de Ca, Fe y Al originados por mecanismos de precipitación y pueden liberar P muy lentamente por medio de la meteorización. Los compuestos de Pi pueden encontrarse en forma de sales en solución, sales cristalinas o sales absorbidas por los coloides del suelo, también pueden formar enlaces de gran estabilidad con hidróxidos de Fe, Al o Mn y son menos solubles que los compuestos de Po (Bobadilla *et al.*, 2008). El P disponible para las plantas se encuentra en el suelo en forma de ortofosfatos, que son formas inorgánicas solubles, encontrándose iones monobásicos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ ) y dibásicos ( $\text{HPO}_4^{-2}$ ) (Banerjee *et al.*, 2010).

### **2.8.2 Problemática del fosforo el suelo**

En general, la movilidad y concentración del P en los suelos es muy baja si se compara con la de otros nutrientes, se presentan coeficientes de difusión del fosfato en el suelo de  $0.3\text{-}3.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$  y su concentración en la solución del suelo es de 0.02 ppm, es por ello que se hace necesaria la aplicación excesiva de fertilizantes fosforados a los suelos con el objetivo de suplir la alta demanda de este nutriente por parte de las plantas, sin embargo, el exceso de aplicación de fosfatos incrementa la pérdida potencial por escurrimiento superficial, lo cual puede acelerar los procesos de eutrofización en cuerpos de agua. Además, se

conoce que cerca de 90 % de esos insumos se precipitan como formas insolubles de fosfato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ ) en suelos alcalinos, y fosfato de hierro ( $\text{FePO}_4$ ) o fosfato de aluminio ( $\text{Al PO}_4$ ) en suelos ácidos los cuales no son utilizables por las plantas son (Achal *et al.*, 2007; Banerjee *et al.*, 2010). Ese fosfato no disponible que está presente en los suelos sería suficiente para mantener la máxima productividad en las cosechas por cerca de 100 años (Khan *et al.*, 2007). Los bajos índices de asimilación d P se deben a que el este en forma soluble reacciona como iones como el Ca, el Fe o el Al (Peix *et al.*, 2001) debido al valor de pH del suelo que determina la disponibilidad de fosfatos asimilables por la planta (Figura 1), en suelos ácidos los fosfatos asimilables se combinan con el Fe y Al formando sales y complejos químicos insolubles, mientras que en suelos alcalinos se combina principalmente con el Ca y Mg formando sales insolubles (Rodríguez, 1999).

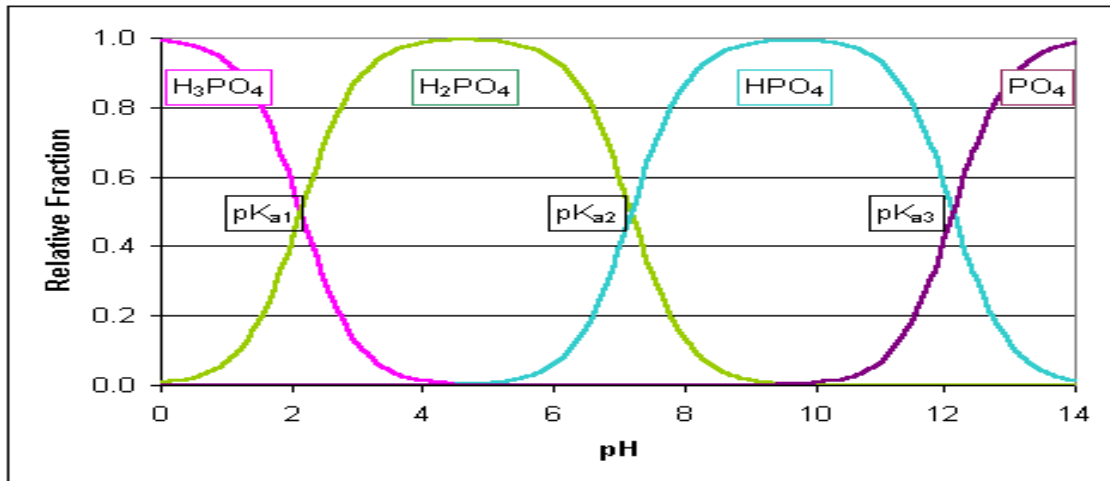


Fuente: YARA

**Figura 1.** El efecto que tiene el pH del suelo en la disponibilidad de fósforo (P).

Señalan Arai y Sparks (2007) que en la solución del suelo a valores de pH entre 4.0 y 6.0 la mayoría del  $\text{P}_i$  está presente como ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , a pH entre 6.5 y 7.5, el  $\text{P}_i$  en la solución del suelo está disponible como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ , en suelos altamente ácidos con  $\text{pH} \leq 3.0$  el P está presente como  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , una forma química extremadamente reactiva (Figura 2), la fijación del fosfato es

bastante rápida al producirse reacciones de precipitación que forman Al-P y Fe-P insolubles, no asimilables para las plantas. Rossi *et al.*, (2006) explica que los cultivos absorben el P como iones de fosfato monoácido ( $\text{HPO}_4$ ) y diácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) de la solución del suelo.



Fuente: Educación Química. 2014

**Figura 2.** Curva de disociación de fosfatos y el efecto del pH del suelo sobre la disponibilidad del fósforo (P).

### 2.8.2.2 Disponibilidad futura del fósforo

Smil (2000) señala que a la velocidad se va consumiendo la roca fosfórica (RF) por los seres humanos es mayor que la velocidad a la que la naturaleza lo produce. Lewis (1993) indica que la mayoría de los suelos están deficientes en formas de P asimilables, por lo tanto el P tiene que ser suministrado a las plantas por medio de la aplicación de fertilizantes fosforados mantener altos niveles de productividad.

La recuperación de P a partir del fertilizante es pobre, solamente el 10-20 % del P aplicado es obtenido por las plantas al año de su aplicación (Holford, 1997). Tilman *et al.* (2001) señala que se espera un incremento anual en el ritmo actual de consumo de los fertilizantes de P, por lo tanto el agotamiento de las reservas de RF se reflejara hasta mediados del siglo XXI.

Hay una gran importancia de los retos que implica sostener el suministro de P necesario para mantener la demanda de alimentación que proviene del incremento de la población mundial, estos retos son el ser más eficientes en el uso y la reutilización de P, hacer a un país menos dependiente de P importados y por lo tanto aumenta su seguridad de suministro. Diversos autores coinciden que las reservas de fosfato de roca podrían agotarse dentro de varios años (Steen, 1998; De Haes *et al*, 2009; Smit *et al*, 2009; Vaccari, 2009; Cordell, 2010).

FAO (2010) estima que la demanda de P crecerá anualmente un 2.9 % en 2014 y a largo plazo tendrá un incremento del 2 % por año hasta 2050. Además, según las estadísticas del IFA (2011) la cantidad de la RF (expresada como el porcentaje de  $P_2O_5$ ) ha disminuido de 31.4% en 1999 a 30.6% en 2009, esta tendencia sugiere que tendrá que ser extraído más roca RF para lograr la misma cantidad de P en el futuro.

### **2.8.2.3 Contaminación de fertilizantes fosfatados**

El fósforo aplicado en cantidades que exceden la requerida por los cultivos se acumula en los perfiles del suelo. Sin embargo, cuando la capacidad de absorción de los suelos se satura, el transporte vertical del fósforo, a través del perfil del suelo, provoca la contaminación de aguas subterráneas (Chardon, 2007). De acuerdo con Zvomuya (2006), la lixiviación de fósforo es un problema importante sobre todo en suelos con drenaje deficiente y altos contenidos de materia orgánica, así como en suelos con una larga historia de aplicación de aguas residuales. Lo anterior, implica un riesgo potencial de contaminación de acuíferos no confinados que se encuentran a profundidades someras.

## **2.9 Las fuentes de fertilizantes de fosforo**



### 2.9.1 Roca fosfórica

En la naturaleza la principal fuente de Pi es la roca fosfórica (RF) que son minerales derivados del ácido ortofosfórico, conocidas como apatitos o apatitas. Una vez que la roca se extrae de la mina, se muele y se empaca para ser aplicada directamente a los suelos cultivados, el nombre comercial de RF es usado por al menos 300 fosfatos de diferentes calidades en el mundo. (Hammond y Day, 1992),

Zapata y Roy (2007) explica que cerca del 80 % de la producción mundial de RF proviene de depósitos de origen sedimentario marino, 17 % es de las rocas producidas altas temperaturas y de productos derivados de su meteorización, el resto proviene de los depósitos sedimentarios residuales. Así mismo, los depósitos de RF están ampliamente distribuidos en todo el mundo tanto geográfica como geológicamente. Los depósitos que cuentan con la mayor producción mundial de RF se hallan en Marruecos y otros países de África, Estados Unidos, Medio Oriente y en la China. Hamond y Day (1992) señalan que la industria de los fertilizantes consume cerca del 90 % de la producción mundial de RF y el 10% restante se usa en la industria de suplementos para alimentación animal y detergentes.

La RF como fertilizante fosfórico (Goenadi *et al.*, 2000) es poco soluble (Rajan *et al.*, 1996; Reddy *et al.*, 2002, Pramanik *et al.*, 2009) y de baja efectividad agronómica (Vassileva *et al.*, 2000); se usa como materia prima para la síntesis de fertilizantes más solubles (Reyes *et al.*, 2001; Batti y Yamar, 2010).

El principal problema con la aplicación directa de RF al suelo es su insolubilidad (Sahu y Jana, 2000); además el bajo porcentaje soluble es fijado en el suelo (Engelstad y Terman, 1980). Sin embargo, es más económico que la aplicación de fertilizantes fosfóricos solubles (Sahu y Jana, 2000). Una ventaja de la aplicación de RF es que ésta es considerada como un abono verde o natural. Algunos autores han reportado que el uso de fertilizantes fosfóricos solubles es

una práctica costosa y afecta la diversidad microbiana del suelo (Gyaneshwar *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2011).

### **2.9.2 MAP**

IPNI señala que el fosfato monoamónico (MAP) es una fuente de fósforo (P) y nitrógeno (N) ampliamente utilizada, en los últimos años su utilización ha crecido rápidamente. Está hecha con dos componentes comunes de la industria de fertilizantes y posee el más alto contenido de P entre los fertilizantes sólidos comunes.

El MAP ha sido un importante fertilizante granulado por muchos años, es soluble en agua y se disuelve rápidamente en el suelo si se presenta la humedad adecuada. Tras la disolución, los dos componentes básicos del fertilizante se separan nuevamente liberando amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Ambos nutrientes son importantes para mantener un crecimiento vegetal saludable. El pH de la solución alrededor del gránulo es moderadamente ácido, haciendo al MAP un fertilizante especialmente deseable en suelos con pH neutros y alcalinos.

### **2.9.3 Fertilizante líquido de fosforo (08-24-00)**

Es un fertilizante líquido fosforado, su formulación evita la precipitación con él Al y el Fe en pH ácidos y su fijación en pH alcalinos, no ocasiona taponamiento en riegos por goteo, por su forma líquida la planta lo absorbe fácilmente, hace más eficiente el uso del agua de riego, ayuda a preservar el ecosistema al racionalizar el uso de los fertilizantes, es importante porque permite un crecimiento vigoroso del sistema radicular, tallos y meristemas de crecimiento. Es una fórmula nutricional desarrollada para proporcionar parte del nitrógeno y fósforo que requiere el cultivo (Cuadro 4)

---

<b>Composición porcentual</b>	<b>% (peso/vol.)</b>
-------------------------------	----------------------

---

Fosforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	24.00 %	<b>Cuadro 4.</b> Composición porcentual del fertilizante (08-24-00).
Nitrógeno N	8.00 %	

Composición porcentual del fertilizante (08-24-00).

Fuente: TEAA, 2016.

## 2.10 Agricultura orgánica

Pérez y Landeros (2009) lo describe como una aportación de abonos orgánicos, prácticas agrícolas para restablecer y mantener un balance ecológico de la biodiversidad. Algunos autores señalan como un medio de sustentabilidad que trata de cambiar los retos de la producción convencional y más que una tecnología en la producción, es una alternativa para obtener un mejor manejo del suelo donde impulsa al uso de insumos locales (Espinoza *et al.*, 2007). Así mismo, menciona Gómez *et al.* (2008) que surgió como una alternativa para proteger el medio ambiente y las diferentes especies de plantas y animales de los peligros de la agricultura convencional o moderna.

IFOAM (2014) define a la agricultura orgánica como un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas, así como de las personas, y tiene como fundamento un proceso ecológico de la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones de cada lugar.

### 2.10.1 Agricultura orgánica en el mundo

La agricultura orgánica se practica en más de 172 países, la cual se lleva a cabo de manera ecológica en una superficie de 43.7 millones de hectáreas, donde aproximadamente 2.3 millones de agricultores producen bajo este sistema, la

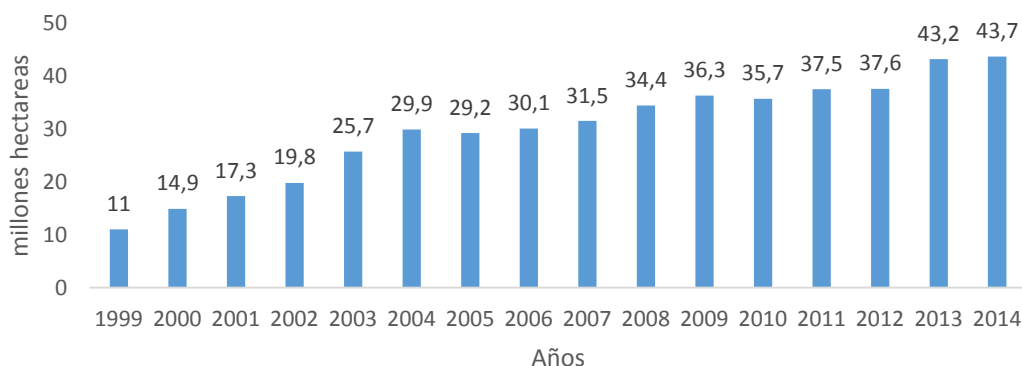
cual refleja un incremento en la ventas mundiales de alimentos y bebidas orgánicas que tiene como resultado la obtención de 80 mil millones de dólares en 2014 (The World of Organic Agriculture, 2016). Señala FIBL (2016) que Australia es el país con mayor extensión de tierras agrícolas orgánicas, superando Argentina y US (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Los países con mayor extensión de tierras agrícolas orgánicas.

País	Millones de hectáreas
1. Australia	17.2
2. Argentina	3.1
3. US	2.2
4. China	1.9
5. España	1.7

Fuente: FIBL 2016

Del mismo modo, señala (Organic World, 2012) que se ha dado un crecimiento de la superficie agrícola orgánica a nivel mundial 1999-2014 (Figura 3).



Fuente: (Organic World, 2012)

**Figura 3.** Desarrollo de la agricultura orgánica, a nivel mundial, mostrando su crecimiento entre los años 1999 – 2014, en millones de hectáreas

### **2.10.2 Agricultura orgánica en México**

Gómez (2009) indica que en México se va aumentando la producción orgánica por encima de la media internacional, un ejemplo que se da es el caso del café orgánico, ya que el México se ha convertido en el primer productor mundial. A la vez ya existen más de 50 cultivos orgánicos de los cuales su origen es agrícola y pecuario y la producción continúa variando. En México la agricultura orgánica se vincula en mayor medida a pequeños agricultores caracterizados por su estado de pobreza y de marginación (de 128,862 productores orgánicos ubicados, 99.95 % son pequeños agricultores, 82.77 % pertenece a algún grupo indígena y el 34.6 % son mujeres) (Gómez et al., 2010).

CNPO (2010) determina que la agricultura orgánica en México cubre casi 400,000 hectáreas, teniendo una media de crecimiento del 20 % anual en promedio en los últimos 10 años, exportándose el 90 % de la producción orgánica nacional se. Los ingresos por la exportación de productos orgánicos son alrededor de 400 millones de dólares promedio anual. Se considera que existen 128,000 productores involucrados en la producción orgánica, donde los principales productos orgánicos en el país por la superficie orgánica cultivada son café (48 %), aguacate (15 %), hortalizas (9 %), hierbas aromáticas y alimenticias (8 %) y los estados principales en la producción orgánica son Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Querétaro y Guerrero que representa el 77 % del volumen total producción orgánica nacional.

A partir del 2014, SENASICA cuenta con organismo que cumplen con las reglas nacionales de regulación y evaluación de los estándares del Programa Nacional Orgánico para obtener una eficiencia en la producción orgánica de productos. SAGARPA señala que para obtener las regulaciones en la producción orgánica se considera las leyes, normas y reglamentos internacionales para llegar a acuerdo con socios comerciales de todo el mundo, esto llevo formula una

cooperación y participación decidida de todos los sectores. CNPO expidió el 7 de febrero de 2006 la Ley de Productos Orgánicos (LPO) que indica que se debe establecer los requerimientos mínimos de verificación y Certificación orgánica para un sistema de control, estableciendo las responsabilidades de los involucrados en el proceso de certificación para facilitar la producción o procesamiento y el comercio de productos orgánicos, a fin de obtener y mantener el reconocimiento de los certificados orgánicos para efectos de importaciones y exportaciones; con el fin de reglamentar los sistemas de producción orgánica e impulsar comercialmente tanto a nivel nacional como internacional los productos orgánicos en México (CPNO, 2014).

### **2.11 Biofertilizantes**

Aguirre *et al.* (2009) señala que los biofertilizantes contienen microorganismos del suelo que realizan simbiosis de forma directa o indirectamente al sistema radical de las plantas, para favorecer un incremento en el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta. Armenta *et al.* (2010) indica que dado este beneficio, se podría sustituir la fertilización sintética, y por consiguiente lograr disminución en la contaminación de los agroquímicos. Cabrera *et al.* (2003) expone que los microorganismo inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas ayudando a su nutrición y protección.

En los últimos años se ha visto un incremento en la utilización de biofertilizantes, que se caracterizan por la presencia microorganismos, ya sean hongos o bacterias, que se asocian en forma natural con las raíces de las plantas, y aunque son muchos los microorganismos identificados que se utilizan en este tipo de fertilizantes, los más comunes pertenecen a los géneros *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Glomus* (Caballero, 2009; Alarcón y Ferrera, 2012).

El uso de biofertilizantes en agricultura expone SAGARPA (2013) tiene dos principales ventajas una ecológica y la otra económica. Este tipo de insumos puede favorecer la disminución de los fertilizantes químicos los cuales se usan

en muchos casos en forma excesiva, así mismo señala los microorganismos tiene la función de fijar N, también solubilizan el P, y que crecen en contacto con las plantas.

Aguado-Santacruz (2012) define a los biofertilizantes como insumos biotecnológicos formulados con microorganismos vivos, pudiendo ser estos hongos o bacterias, solos o combinados, cuya finalidad es promover la productividad en las plantas cultivadas. Estos insumos favorecen al crecimiento vegetativo a través de diversos mecanismos de acción como: el control de fitopatógenos en la rizósfera, la producción de hormonas vegetales, la conversión de materiales a formas disponibles para las plantas, la liberación de nutrientes del suelo o la materia orgánica, y la mejora en la absorción y translocación de nutrientes.

### **2.11 Microorganismos solubilizadores de fosforo**

Rosas *et al* (2006) indica que algunos microorganismos, especialmente los asociados con las raíces, tienen la habilidad de incrementar el crecimiento de las plantas y su productividad, estos son reconocidos como microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (PGPM por sus siglas en ingles). Fankem *et al.* (2006), señala que los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) constituyen un grupo importante de PGPM, pues están involucrados en un amplio rango de procesos que afectan la transformación del P, siendo componentes integrales del ciclo de este nutriente. El mismo autor indica que estos microorganismos del suelo están implicados en la liberación de P desde fuentes inorgánicas por medio de la solubilización y desde fuentes orgánicas a través de la mineralización.

La biomasa microbiana en el suelo contiene una cantidad significativa de P inmovilizado que es potencialmente disponible para las plantas (Oberson *et al.*, 2001). Los hongos son importantes componentes de la biota del suelo, su

abundancia depende de la profundidad del suelo y de las condiciones nutricionales (Chakraborty et al., 2010). Una amplia cantidad de hongos del suelo han sido reportados como solubilizadores de fosfato insoluble.

### **2.11.1 Hongos como biofertilizantes**

Estudios llevados a cabo con hongos han mostrado que pueden aumentar la absorción de elementos nutritivos por las plantas e incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes, tanto químicos como orgánicos. Con esta práctica, se puede eliminar o disminuir en gran proporción la cantidad de fertilizante aplicado al suelo (Adesemove y Kloepper, 2009). Especies como *Aspergillus sp* y *Penicillium sp* han sido determinadas como solubilizadores de diversas formas de fosfatos inorgánicos (Asea et al, 1988; Whitelaw, 2000)

Medina *et al.* (2009) señala que los hongos que se emplean provienen de un cultivo puro del microorganismo aislado de la raíz de alguna planta de interés y se multiplican en un medio de cultivo específico para luego ser transferido al sustrato, y de esta forma son utilizados en la agricultura.

En los últimos años ha crecido el interés en usar microorganismos con la habilidad de solubilizar fosfatos minerales y orgánicos, a través de procesos que incluyen la acidificación, quelación y reacciones de óxido-reducción. Esto ha llevado al uso de microorganismos solubilizadores de fosfato como biofertilizantes eficientes para incrementar la nutrición de fósforo en diferentes cultivos (Harris *et al.*, 2005).

#### **2.11.1.1 Hongos solubilizadores de fosforo**

Los microorganismos juegan un papel importante en completar el P para las plantas (Halder *et al.*, 1991; Abd- Alla, 1994; Whitelaw, 2000; Goldstein, 1986). Chakraborty *et al.* (2010) indica que los hongos son un factor importante en la



biota del suelo y su abundancia depende de la profundidad del suelo así como de las condiciones nutricionales. Goldstein y Krishnaraj (2007) exponen que la solubilización del P del suelo es un proceso que se lleva por una reacción de precipitación en la cual el P se revierte, liberando P en la solución del suelo, guiados generalmente por la acción metabólica de los microorganismos y las raíces de las plantas.

Diversos autores coinciden que los hongos solubilizadores de fosfatos (HSP), mediante la acción enzimática específica liberan los fosfatos capturados en la fracción mineral y lo vuelven disponible para las plantas, así también señala que el suelo da nutrientes a los microorganismos (Dix & Webster 1995; Girvan *et al.*, 2004). Otro mecanismos de solubilización de P empleado por los hongos que es la producción de diversos ácidos orgánicos, como el cítrico, oxálico, málico y glucónico, y la quelación de los minerales que forman los complejos insolubles con el fósforo (Alam *et al.*, 2002; Chun–Chao *et al.*, 2007; Dighton, 2007).

Whitelaw (2000) señala que la habilidad de los hongos solubilizadores de fósforo va en incremento, ya que pueden mejorar la nutrición de las plantas e indica principalmente a los siguientes géneros: *Aspergillus* y *Penicillium* (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Los géneros de hongos solubilizadores de fosfato (HSF)

---

**Géneros de hongos solubilizadores de fosfato (HFS)**

---

*Aspergillus*

*Fusarium*

*Mucor*

*Paecilomyces*

*Penicillium*

*Rhizopus*

*Sclerotium*

*Sytalidium*

*Talaromyces*

*Trichocladium*

---

Fuente: Muleta *et al.*, 2013.

Por su parte, los hongos filamentosos son ampliamente usados como productores de ácidos orgánicos, particularmente algunas cepas de *Aspergillus niger* y algunas especies de *Penicillium* (Sudhakara *et al.*, 2002). Los hongos solubilizadores más estudiados son *Penicillium* y *Aspergillus* (Chun–Chao *et al.*, 2007; El–Azouni, 2008; Pandey *et al.*, 2008).

#### **2.11.1.1.1 *Aspergillus niger***

*Aspergillus niger* se clasifica como un hongo imperfecto, perteneciente a la familia *Trichocomaceae*. Posee una gran diversidad biológica reflejada por el número de cepas, una de sus características principales es su presencia cosmopolita en distintos ecosistemas (Samson y Pitt, 2000).

Xiao *et al.* (2011) estudiaron tres cepas de hongos aisladas de la rizósfera de trigo, identificadas como *Aspergillus niger*, *Aspergillus japonicus* y *Penicillium simplicissimum* y encontraron diferentes capacidades de solubilización de fosfato en condiciones de estrés por temperatura, pH, alta salinidad y agua. Coutinho *et al.* (2011) estudiaron hongos solubilizadores de fosfato aislados de la rizósfera de melón (*Cucumis melo L. cv. gold mine*) y encontraron 52 aislados con la capacidad de solubilizar fosfato pertenecientes a los órdenes *Aphyllophorales* y a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Rhizopus*. La investigación que realizó Gómez *et al.* (2001), quienes determinaron la capacidad y eficiencia solubilizadora de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (fosfato de calcio) y la RF por parte de los hongos aislados de la rizósfera del maní (*Arachis hypogae L.*) para establecer la posibilidad de su empleo como inóculo en suelos ácidos enmendados con fuentes insolubles de fósforo. De un total de trece organismos, sólo cinco presentaron la capacidad para solubilizar estas fuentes

insolubles de fósforo, los hongos con esta habilidad, pertenecieron en su totalidad a los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*, la mayor capacidad solubilizadora de la fosforita correspondió a *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum*, *Penicillium sp.*, y *Aspergillus niger*. Pérez *et al.* (2012) aislaron especies de hongos solubilizadores de fosfatos endófitos y asociados a la rizósfera de pasto colosoana, e identificaron 53 especies de hongos en suelo y 43 en raíces, de los cuales se encontraron 3 y 6 especies solubilizadoras de fosfatos respectivamente. En ese estudio, *Penicillium sp.* y *Aspergillus niger* fueron las especies solubilizadoras de fosfatos más predominantes y *Paecilomyces sp.*, la de menor presencia. Chakraborty *et al.* (2010) evaluaron la capacidad de promover el crecimiento vegetal en plántulas de soya por parte de algunos hongos solubilizadores de fosfato aislados de suelos agrícolas, encontraron que todos los aislamientos promovieron el crecimiento; el más efectivo fue la cepa *Aspergillus niger* RSP-14. En dicho estudio el contenido de fósforo en el suelo disminuyó debido a la actividad de esos microorganismos mientras que la concentración de fósforo en las raíces mostró un incremento significativo

Estudios han identificado la producción de ácidos orgánicos por *Aspergillus niger*, entre los cuales destaca el detectado por Illmer *et al.* (1995), los cuales corresponden a ácido oxálico y cítrico, lo que también concuerda con otros autores (Rose, 1957; Sperber, 1958; Venkateswarlu *et al.*, 1984; Illmer y Schinner, 1995 y Vassilev *et al.*, 1996). Además de ácido láctico y glucónico los cuales fueron producidos en cantidades mayores (Berry, 1975).

#### **2.11.1.1.2 *Penicillium sp.***

Beltrán (2009) realizó una aproximación para conocer el efecto del sistema de producción del cultivo del arroz (secano e inundado) sobre la población microbiana y la actividad enzimática asociada al metabolismo edáfico del fósforo en los suelos. En su trabajo se realizaron los recuentos del grupo

funcional y la caracterización de los microorganismos solubilizadores de fosfato de Ca, Al y Fe; y encontró actividades sobresalientes de solubilización de fosfatos por parte de aislados fúngicos de los géneros *Penicillium sp.*, *Mucor sp.*, y como género bacteriano destacado a *Micrococcus sp.* Wakelin et al. (2004) en un estudio realizado en Australia, demostró que inoculantes a base de *Penicillium bilaiae* y *Penicillium radicum* tenían efectos benéficos en los cultivos. En Canadá, un biofertilizante a base del hongo *Penicillium bilaiae* fue inicialmente probado en unas pocas hectáreas con buenos resultados y en 2002, aproximadamente un millón de hectáreas sembradas con los principales cultivos de Canadá utilizaban ese biofertilizante (Patiño, 2010). *Penicillium sp.* ha sido ampliamente estudiado por su habilidad como mejorador de suelo, es un reconocido solubilizador de fósforo, permite aumentar la disponibilidad del fósforo unido a Ca, Fe y Al (Paiva Coutinho et al., 2012).

### **2.11.2 Mecanismos de solubilización de fosfatos**

El principal mecanismo microbiológico por el cual los compuestos fosfatados son solubilizados es la disminución del pH del medio extracelular hasta valores aproximados a 2.0 que son necesarios para que se pueda llevar a cabo la solubilización (Lara et al., 2011). Este fenómeno se origina debido a la liberación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular por parte de los microorganismos, cuyas propiedades quemantes favorecen la formación de complejos insolubles con metales, con la consecuente liberación del fosfato (Fernández et al., 2005).

#### **2.11.2.1 Ácidos orgánicos**

El papel de los ácidos orgánicos (AO) dentro del suelo no ha sido aún bien definido, pero existen numerosas evidencias que señalan la existencia de efectos benéficos en el crecimiento fisiológico de las plantas (Igual et al., 2001). Señala Goldstein (1995) que los AO incrementan la disponibilidad de formas insolubles de diferentes nutrientes de las plantas, en especial el P.

Los AO presenta un bajo peso molecular, son producidos por microorganismos que se encuentran en la rizósfera (Cuadro 9), la concentración en la solución del suelo normalmente es baja, variando de 1 a 50  $\mu\text{m}$  (Strobel, 2001). Son importantes en la agricultura, por que forman complejos con metales, solubilizan metales y participan en su transporte (Jones *et al.*, 2003). Ácidos como el oxálico, cítrico, láctico, tartárico, tienen propiedades quelantes y solubilizadoras sobre los metales (Babu–Khan *et al.*, 1995).

Halder *et al.*, (1990) señala que la solubilización del fosfato por los ácidos orgánicos depende del pH y la mineralogía del suelo, en este fenómeno lo que ocurre primero es intercambio del ácido, por ejemplo: los  $\text{H}^+$  provenientes del citrato se intercambian por el P ligado a la superficie de los cristales de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  o  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  reduciéndolos y liberando al P. Así mismo, menciona Sharma *et al.*, (2011) que el efecto benéfico de los AO se debe a la reducción en el pH del medio. Ácidos orgánicos e inorgánicos secretados por los microorganismos solubilizadores de fosfatos quelatan y forman complejos estables con  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ , de modo que aumenta la disponibilidad del P.

**Cuadro 7.** Producción de ácidos orgánicos por los principales hongos solubilizadores de fosforo.

<b>Organismo</b>	<b>Ácido predominante</b>
<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. candidus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A.wentii</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Trichoderma isridae</i> , <i>Trichoderma sp.</i>	Láctico, maleico, málico, Acético, tartárico, cítrico, Fumárico, glucónico
<i>Penicillium oxalicum</i>	Málico, glucónico, oxálico
<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. Niger</i> , <i>P. canescens</i>	Oxálico, cítrico, glucónico, Succínico
<i>Penicillium rugulosum</i>	Cítrico, glucónico
<i>A. niger</i>	Succínico

<i>Penicillium variable</i>	Glucónico
<i>Penicillium rugulosum</i>	Glucónico
<i>Penicillium radicum</i>	Glucónico
<i>A. niger</i>	Cítrico, oxálico, glucónico
<i>A. awamori</i> , <i>A. aoetidus</i> , <i>A. terricola</i> , <i>A. amstelodemi</i> , <i>A. tamari</i>	Oxálico, cítrico
<i>Penicillium bilaji</i> <i>A. niger</i> , <i>P. simplicissimum</i>	Cítrico, oxálico Cítrico
<i>A. awamori</i> , <i>P. digitatum</i>	Succínico, cítrico, tartárico
<i>Penicillium sp.</i>	Oxálico, etacónico
<i>A. niger</i>	Succínico
<i>Aspergillus sp.</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Chaetomium nigricolor</i>	Oxálico, succínico, cítrico

Fuente: (Khan *et al.*, 2010)

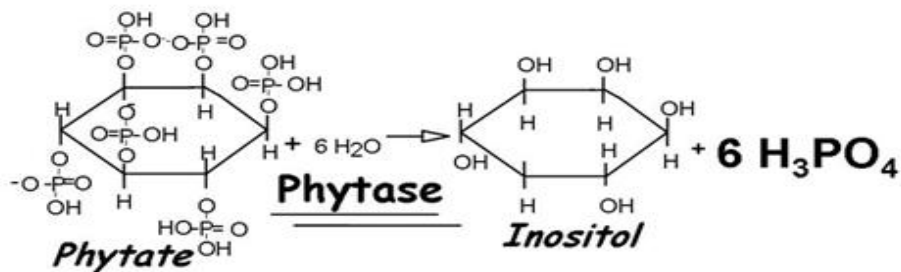
### 2.11.2.2 Fitasas

Vincent *et al.*, (1992) señala que las fitasas (*phytase*) son enzimas que pertenecen a una subfamilia de las fosfatasas que son un conjunto de diferentes enzimas que se clasifican en fosfatasas alcalinas, fosfatasas ácidas de alto y bajo peso molecular y fosfatasas-proteína. Así mismo, Brenes *et al.* (2002) indica que estas enzimas difieren en sus pH óptimos, requerimientos de iones metálicos, especificidad por los substratos y posiblemente por los mecanismos de reacción.

Durante más de 20 años las enzimas fitasas han atraído la atención de los científicos por ser consideradas proteínas con gran aplicación comercial y ambiental. Estas enzimas pertenecen a una clase especial de fosfatasas capaces de hidrolizar el ácido fítico, se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, están presentes en plantas, microorganismos, así como en algunos tejidos animales (Shah y Parekh, 1990). Las enzimas rompen el enlace

éster de las formas insolubles de P, dejando iones de ortofosfato asimilables para las plantas (Sayer et al., 1995).

Rodríguez (2005) expone que la solubilización de fósforo orgánico se lleva a través de un proceso dirigido por enzimas, la fitasas que catalizan el proceso de hidrólisis del ácido fítico libera de forma secuencial hasta seis grupos ortofosfatos libres la (Figura 4). Este trabajo le corresponde a las fosfatasas ácidas y a las fitasas, debido a la presencia predominante de sus sustratos en el suelo.



Fuente: University of Guelph, 2010

**Figura 4.** La acción de la fitasa liberación de ortofosfato de ácido fítico.

En mismo autor señala que no obstante, un enfoque más reciente ha sido el uso de las fitasas para su aplicación en la agricultura, como una vía para utilizar el ácido fítico como fuente primaria de fósforo y lograr una mejor movilización de este elemento hacia las plantas, debido a que su habilidad para obtener fósforo directamente del ácido fítico es muy limitado.

Un gen de fitasa aislado de *Aspergillus niger* se expresó en las raíces de la planta *Arabidopsis* siendo secretado como una enzima extracelular. Este gen fue capaz de hidrolizar el fósforo de los fitatos en la planta estudiada, que mediante su expresión en las raíces, adquirió la capacidad de obtener fósforo a partir del ácido fítico (Richardson *et al.*, 2001). Hasta ahora dos tipos principales de fitasas han sido identificadas; fitasas ácidas, con un pH óptimo entre 2.5 y 5.5, y las fitasas alcalinas con un pH óptimo entre 6 y 8, consideradas como fitasas de nuevo tipo, por su alta especificidad al ácido fítico

y la presencia necesaria del ion calcio para su actividad enzimática (Choi, 2004).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización geográfica del trabajo de investigación**

El presente trabajo de investigación se realizó en los invernaderos de 10.8 m<sup>2</sup> y laboratorios de la empresa Greencorp Biorganiks de México, S.A. de C.V., localizada al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, y cuyas coordenadas geográficas son las siguientes: 25°26'49" latitud norte, 100°59'611" longitud oeste, del meridiano de Greenwich.

#### **3.2 Material genético**



Se utilizaron semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) var. Rio fuego, de la empresa Pacifico, con un 99 % de pureza y 85 % de germinación de hábito de crecimiento determinado, la forma del fruto es oval de 2 o 3 lóculos, peso promedio del fruto 120 g y buena firmeza.

### 3.3 Tratamientos

Se evaluaron dos inóculos de biofertilizantes a base de hongos solubilizadores de P y un testigo sin aplicación de los biofertilizantes en interacción a tres diferentes fuentes P. Las fuentes de P fueron MAP, Roca fosfórica y un P liquido (8-24). De la interacción entre inóculos y fuentes de P se obtuvieron 9 tratamientos (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Descripción de los tratamientos del experimento.

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
T1	Testigo con fertilización MAP, sin inocular
T2	Testigo con fertilización 08-24-00, sin inocular
T3	Testigo con fertilización Roca fosfórica, sin inocular
T4	Tratamiento inoculado con el Inoculo1 a una dosis de 4 L, la fertilización con MAP
T5	Tratamiento inoculado con el Inoculo1 a una dosis de 4 L, la fertilización con 08-24-00
T6	Tratamiento inoculado con el Inoculo1 a una dosis de 4 L , la fertilización con Roca fosfórica
T7	Tratamiento inoculado con el Inoculo2 a una dosis de 4 L, la

	fertilización con MAP
T8	Tratamiento inoculado con el Inoculo2 a una dosis de 4 L, la fertilización con 08-24-00
T9	Tratamiento inoculado con el Inoculo2 una dosis de 4 L , la fertilización con Roca fosfórica

### **3.4 Inoculación**

Para la inoculación de los hongos solubilizadores de fosforo se realizó 3 aplicaciones: la primera aplicación antes del trasplante, la segunda a los 15 días después del trasplante y finalmente 20 días después del trasplante (DDT). Las aplicaciones fueron en drench a razón de 4 L/ha mediante un atomizador, en el segundo tercio del riego.

### **3.5 Establecimiento del experimento**

El día 14 de mayo del 2014 se llevó a cabo la siembra de la semilla de tomate que fueron colocadas en charolas de poliestireno de 200 cavidades, usando como sustrato una mezcla de Peat-Moss y perlita. Las charolas fueron colocadas dentro del invernadero, y se realizaron riegos frecuentemente, de manera manual. Además se aplicaron algunos productos orgánicos en la etapa para evitar problemas fitosanitarios. Para establecer el experimento se utilizaron contenedores de plástico rígido de 10 litros, los cuales fueron llenados con tierra agrícola proveniente de los campos de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El 29 julio del 2014 se llevó a cabo el trasplante de las. Se colocó una planta por maceta, colocando 36 plantas en invernadero colocadas completamente al azar los tratamientos.

### **3.6 Manejo agronómico**

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron aclareos el parte baja de la plata para eliminar hojas viejas que sirvan como hospederos de plagas, eliminación de malezas que compiten por los nutrientes, monitoreo de presencia de plagas y enfermedades.

### **3.6.1 Riego**

El riego se realizó según las necesidades hídricas, con pruebas al sistema de riego para poder calibrarlo obteniendo un riego de gasto de 1 L/ 1 hora.

### **3.6.2 Nutrición**

Para la nutrición de las plantas, se satisficieron los siguientes requerimientos nutritivos de fertilización: se aplicara una dosis de fertilización al 100% de 3 fuentes diferentes de fosforo (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Requerimiento nutricional aplicado al experimento

<b>Fuente</b>	<b>Gramos por planta</b>	<b>Gramos por 36 plantas</b>
MAP (12-60-00)	16.63	598.68
Roca fosfórica	37.03	1333.08
Liquido (08-24-00)	33.59	1209.24

### **3.6.3 Tutoreo**

El tutoreo se llevó a cabo usando rafia de polietileno, se colocaron por planta teniendo mucho cuidado al colocar la rafia realizando una tensión de la rafia hacia los cables colocados en invernadero.

### **3.6.4 Manejo de plagas y enfermedades**

Para el control de plagas y enfermedades, fueron utilizados los productos orgánicos, de la empresa GreenCorp Biorganiks de México, S.A. de C.V.

(Cuadro 10).Las aplicaciones se realizaron a lo largo del ciclo del cultivo de manera preventiva, utilizando una mochila de aspersión.

A modo preventivo se aplicó los productos durante el desarrollo del experimento, de tal manera que se aplicaba se pudo observar la incidencia de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Además, respecto a enfermedades, se tuvo ligera incidencia del hongo *Alternaria solani*, el cual, del mismo modo, se controló con productos orgánicos, el monitoreo era realizado cada tercer día examinado desde tallo hacia las flores de la planta.

**Cuadro 10.** Productos para el control de plagas y enfermedades.

<b>Producto</b>	<b>Actividad biológica</b>
Biofumigate Or N+	Amplio espectro de acción para el control de hongos y bacterias fitopatógenos foliares
Best ultra S	Amplio rango de acción y efectividad contra hongos del suelo.
Fulikover orgánico	Inductor de resistencia con acción fungicida de amplio espectro para el control de las enfermedades fungosas
Pesti out	Repelente, insecticida, acaricida de amplio espectro
Ebioluzion Plus	Insecticida de amplio espectro
Virablock	Inductor de resistencia antiviral

### **3.6.5 Cosecha**

La cosecha se llevó a cabo después de 84 días de iniciado el experimento, y fueron realizadas de manera manual, cada semana realizando tres cortes en total. Se cosecharon los frutos teniendo como criterio de cambio de color, de verde a rojo obteniendo la madurez fisiológica.

## **3.7 Colecta de datos**

### **3.7.1 Muestreos**

Para determinar las variables de crecimiento de las plantas (Cuadro 11), se realizaron muestreos a cada 8 días después del trasplante. Para conocer el P en el suelo se tomaron muestras de suelo antes de la inoculación a la mitad del experimento y a finalizar. Para realizar el análisis foliar, al final del experimento, se realizó la recolección de hojas por tratamiento teniendo como índice de selección las hojas más jóvenes completamente desarrolladas.

### 3.7.1 Variables evaluadas

Se tomaron diversas variables para que al final fueran analizadas estadísticamente.

**Cuadro 11.** Variables evaluadas, abreviación utilizada y forma de evaluación.

<b>Variable evaluada</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Forma de evaluación</b>
Peso seco de la parte área	PSPA	Estufa / bascula, termino de experimento
Peso seco de raíces	PSR	Estufa / bascula, termino de experimento
Longitud de raíces	LR	Regla, termino de experimento
Volumen de raíces	VR	Probeta, termino de experimento

### 3.8 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para el experimento fue el de factorial completamente al azar, con 9 tratamientos y 4 repeticiones. El análisis estadístico fue realizado en el programa SAS y los promedios fueron comparados mediante la prueba de LSD con  $P < 0.05$ .

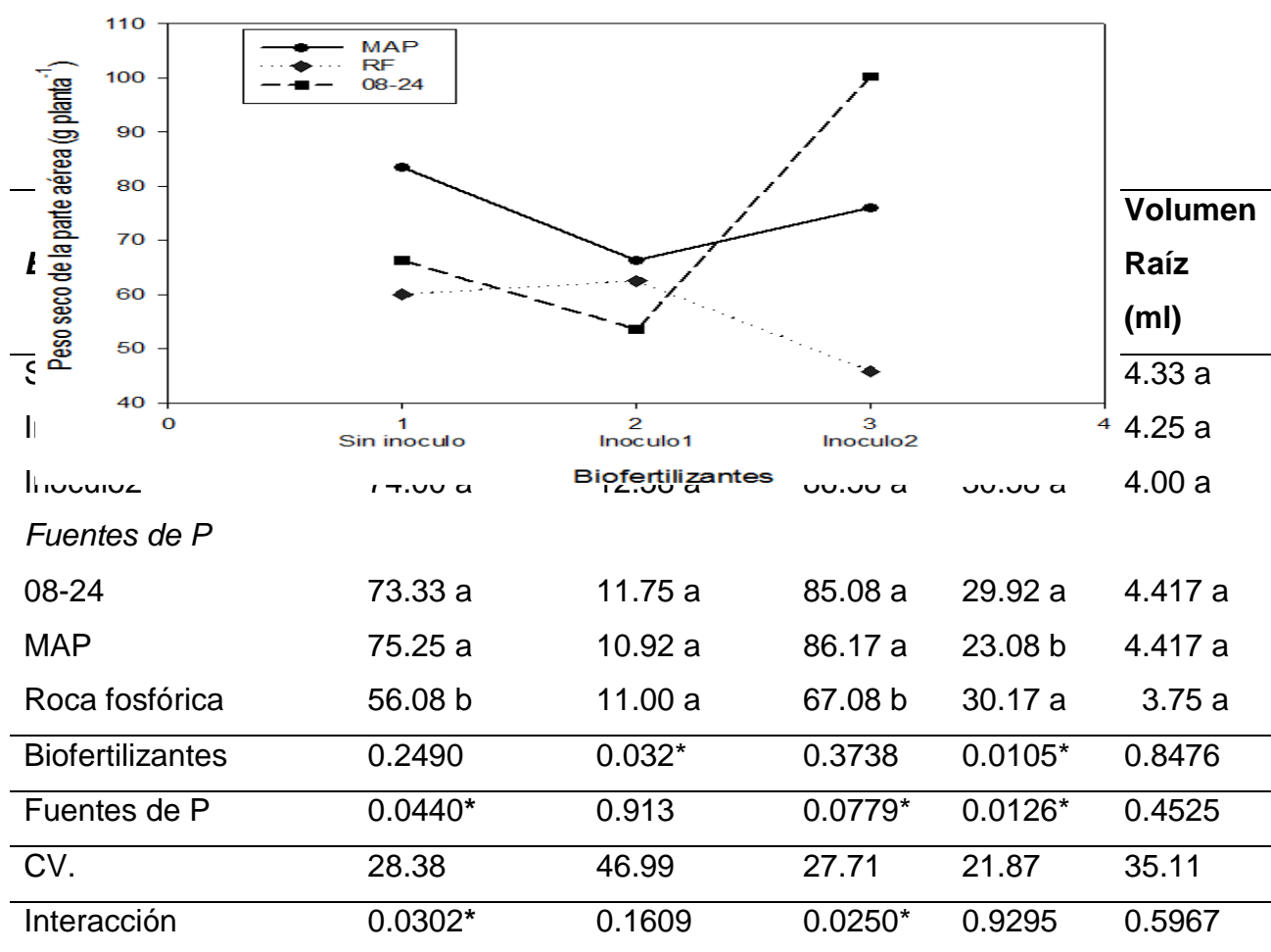
#### **IV. RESULTADOS**

Los biofertilizantes y las fuentes de fosforo P afectaron el crecimiento de las plantas de tomate. La producción de biomasa y la longitud de raíz fueron influenciadas por los diferentes inóculos aplicados. Las fuentes de P solo afectaron la longitud de raíz.

Por otro lado, se observó que el volumen de la raíz fue similar en todos los tratamientos incluyendo los testigos. El peso seco de la parte aérea y la producción de biomasa total fueron afectados por la interacción entre biofertilizantes y fuentes de P (Cuadro 12). x

**Cuadro 12.** Efectos de los biofertilizantes y las fuentes de P en la producción de biomasa, longitud de raíz y volumen de raíz en plantas de tomate cv. Rio fuego. CV= coeficiente de variación; interacción; biofertilizantes x fuentes de P; las letras a y b indican las categorías obtenidas de las medias con la prueba de LDS al P=0.05.

Las plantas tratadas con el Inoculo2 más la fuente de P (08-24) fertilizante liquido superan al testigo (sin inocular), se observó un incremento del 34 % en la producción de la biomasa de la parte aérea de la planta (Figura 5).

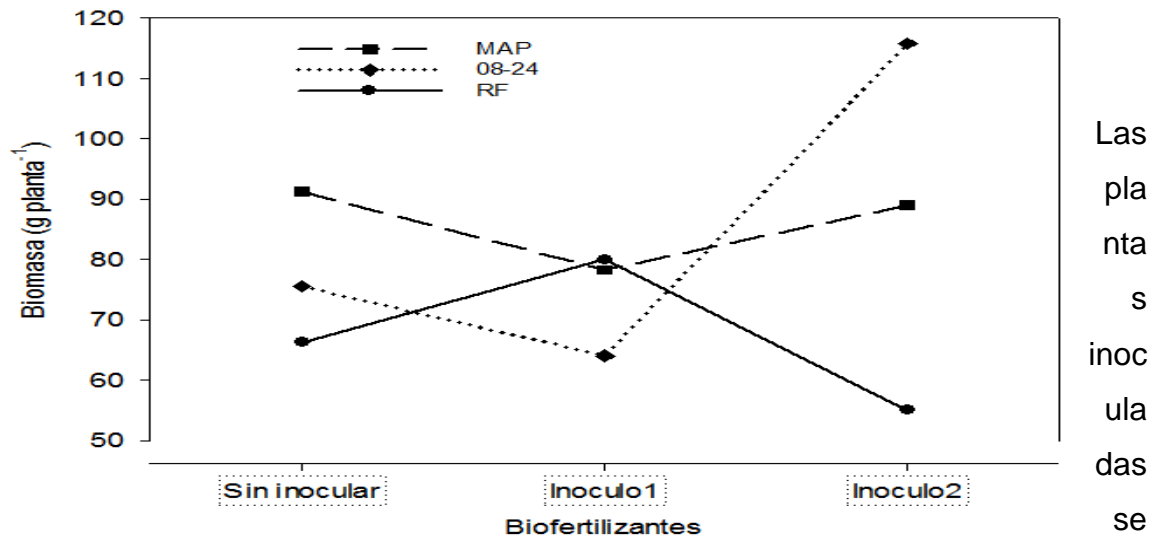


**Figura 5.** Efecto de la interacción de los inoculantes de biofertilizantes con fuentes de P sobre el peso seco de la parte aérea de la plantas de tomate cv. Rio fuego. Las barras indican el error estándar de las medias.

La interacción entre los Biofertilizantes y las fuentes de P muestran efectos contrastantes. La aplicación del inoculo1 mas el fertilizante líquido (08-24) se observa una menor producción de biomasa total, sin embargo con la aplicación del inoculo2 más el fertilizante líquido (08-24) se incrementa la biomasa total a un 32 % en comparación al testigo (sin inocular) (Figura 6).

**Figura 6.** Efecto de la interacción de los inoculantes de biofertilizantes con fuentes de P sobre la biomasa de la plantas de tomate cv. Rio fuego. Las barras indican el error estándar de las medias.





Las plantas inoculadas se observa una mayor longitud de la raíz. La aplicación de los inóculos más los fertilizantes fosfatados (RF); fertilizante liquido (08-24) se observa un incremento de la longitud de raíz en relación del testigo (sin inocular) (Figura 7, 8,9)



**Figura 7.** Raíces de las plantas inoculadas con los Biofertilizantes y testigos sin inocular, con la aplicación de fertilizante MAP.

**Figura 8.** Raíces de las plantas inoculadas con los Biofertilizantes y testigos sin inocular, con la aplicación de fertilizante liquido (08-24).



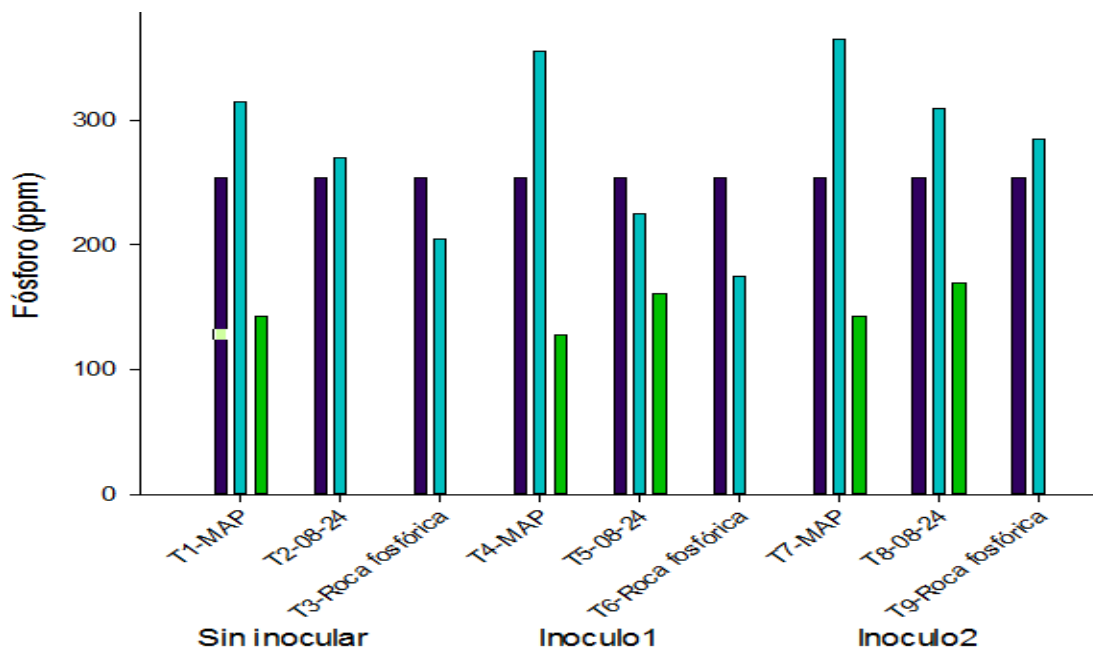
**Figura 9.** Raíces de las plantas inoculadas con los Biofertilizantes y testigos sin inocular, con la aplicación de fertilizante RF.



#### 4.1 Análisis de fertilidad

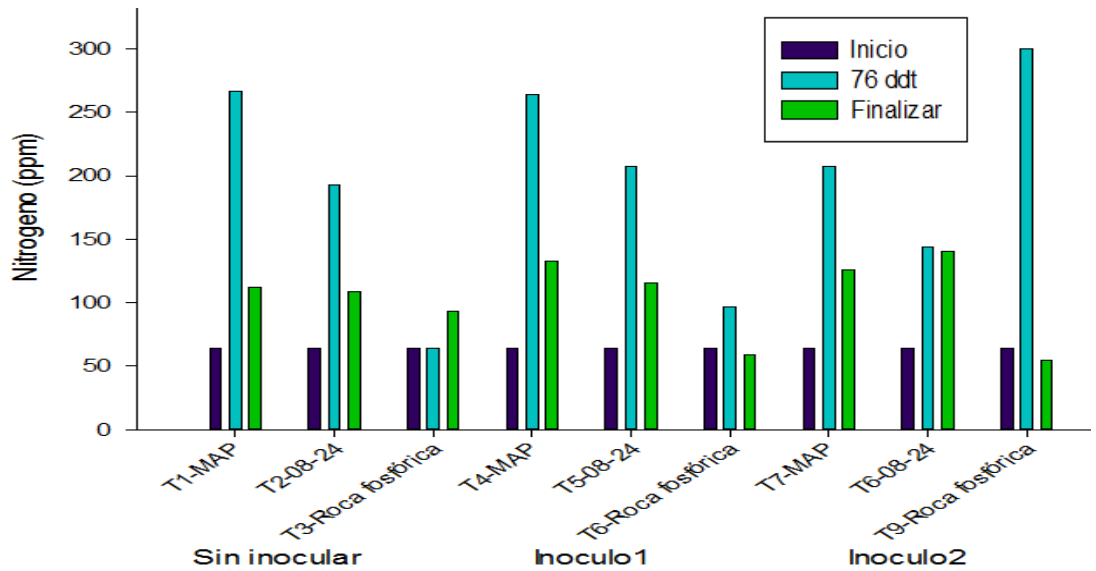
En la figura 10 se presentan los resultados de los analisis del suelo con y sin inoculos. La cual se observa diferencias en el contenido de P despues de la

aplicación de los inoculos a los 76 ddt y al final del experimento. La interacción entre Inoculo2 con las fuentes de P a los 76 ddt incremento el contenido de P, este incremento se dio principalmente con la aplicación de MAP en 22 % en relación al inicio del experimento (Figura 10).



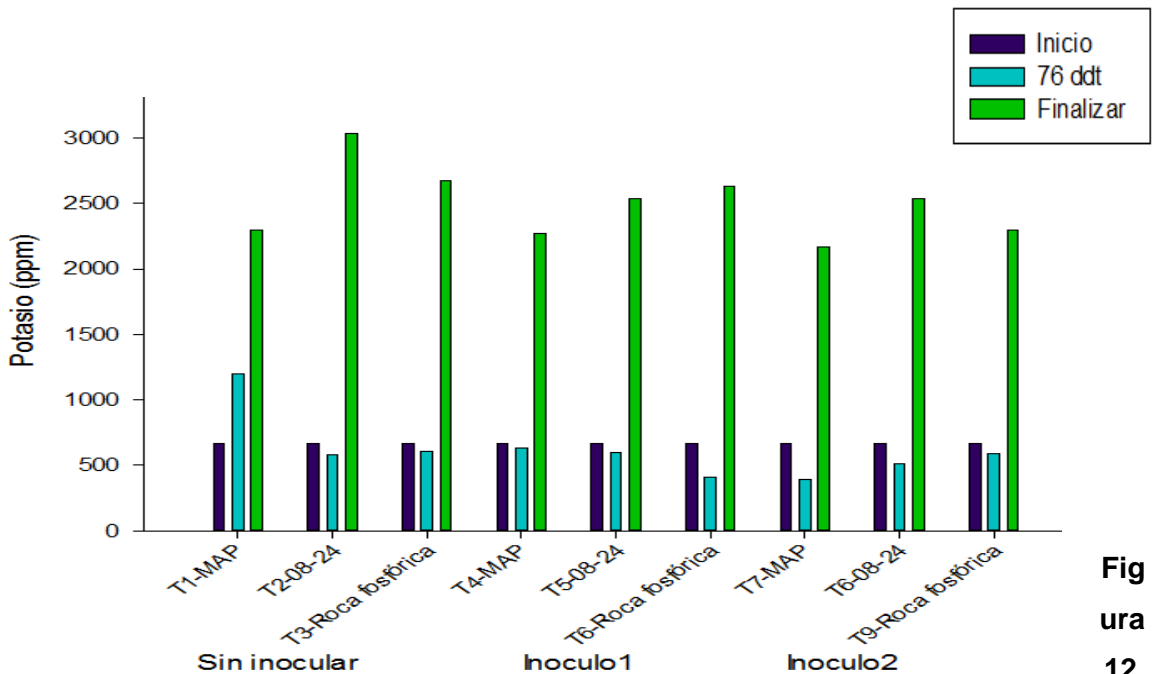
**Figura 10.** Análisis de fertilidad de Fósforo del suelo agrícola donde se realizó el trabajo de investigación.

El análisis de fertilidad de las muestras de suelo señala que a los 76 ddt se incrementó el contenido de N, se observa que al finalizar la investigación el contenido de N disminuye en algunos tratamientos más 50 % (Figura 11).



**Figura 11.** Análisis de fertilidad de Nitrogeno del suelo agricola donde se realizo el trabajo de investigación.

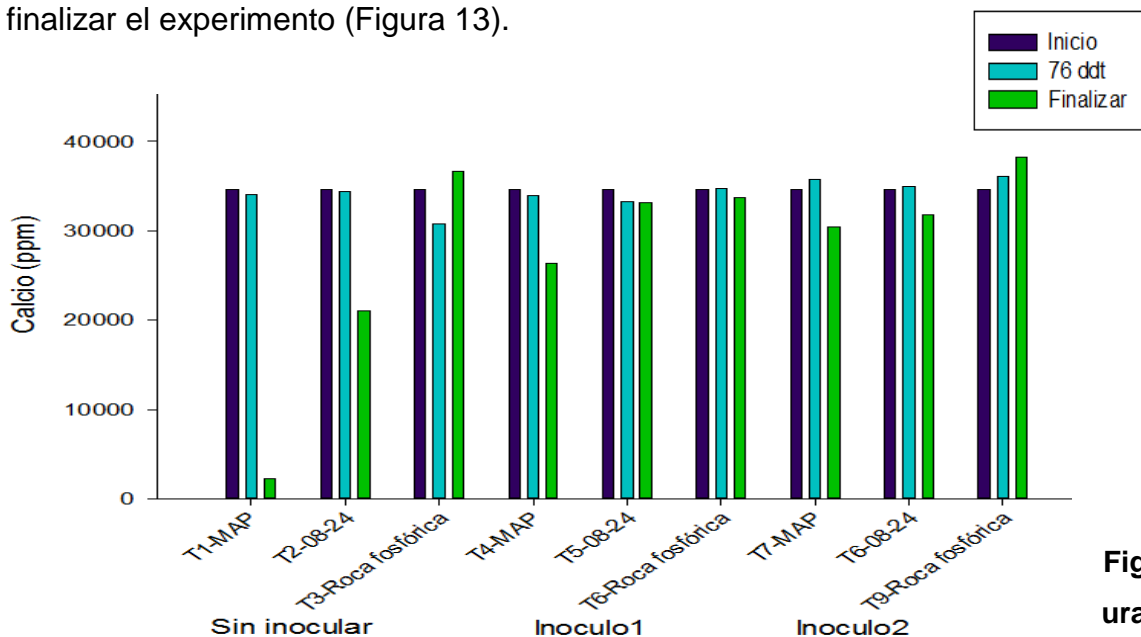
El la figura 12 se observa que la cantidad de potasio de la muestra de suelo al finalizar el experimento aumenta más del 200 % (Figura 12).



**Figura 12.**

Análisis de fertilidad de Potasio del suelo agricola donde se realizo el trabajo de investigación.

En contenido de calcio se mantuvo similar a los 76 ddt en todos los tratamientos. La aplicación de inoculo2 con la fuente de RF aumenta 3 % al finalizar el experimento (Figura 13).

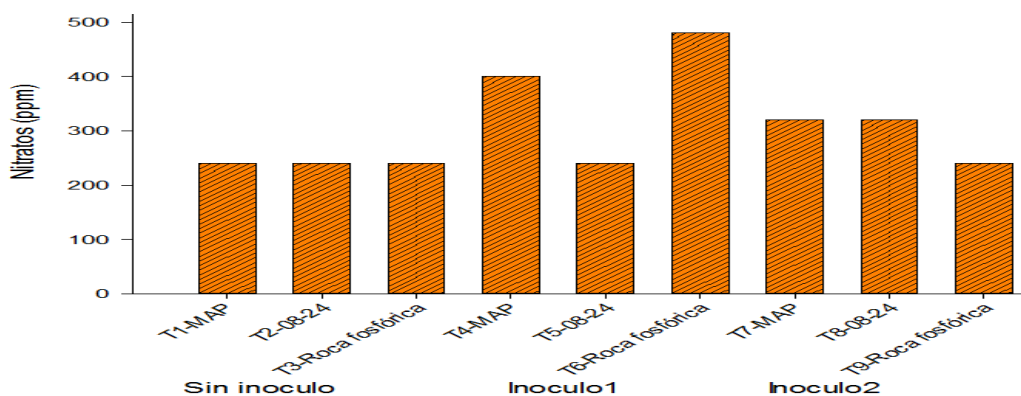


Figura

13. Analisis de fertilidad de Calcio del suelo agricola donde se realizo el trabajo de investigacion.

#### 4.2 Análisis foliar

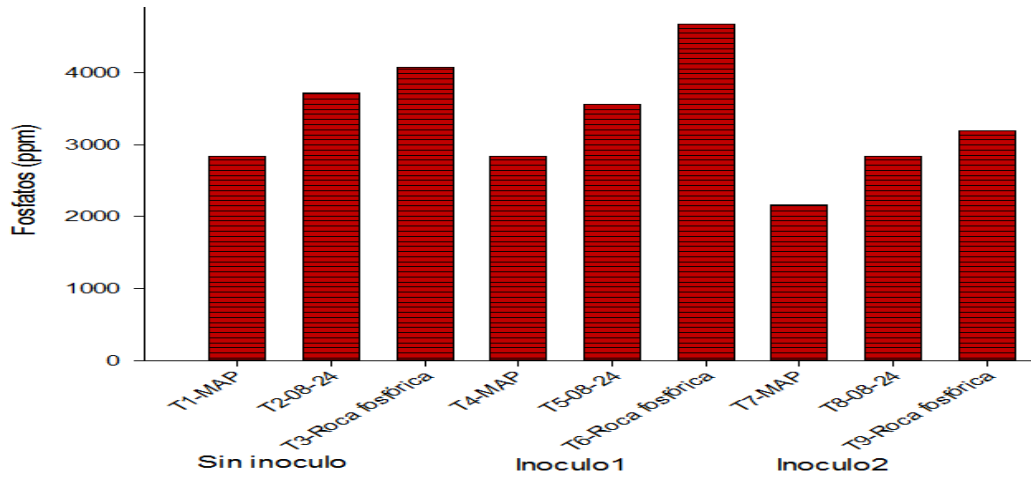
Las plantas inoculadas con los Biofertilizantes muestran mayor cantidad de N en relacion con el testigo (sin inocular). La aplicación del Inoculo1 más RF incrementa 50 % el contenido de Nitratos de las plantas sin inocular (Figura 14).



Figura

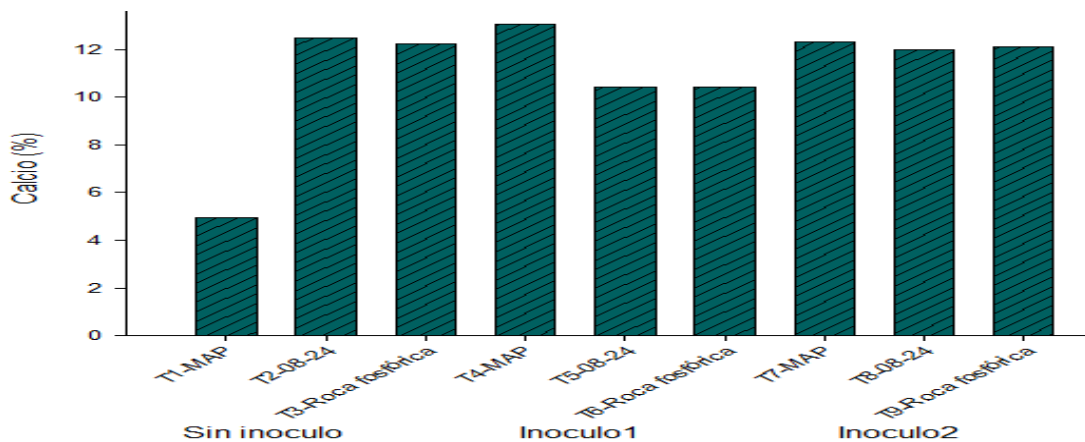
14. Analisis foliar de nitratos en la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P.

El análisis foliar indica que el contenido de fosfatos en las plantas inoculadas con los Biofertilizantes más la aplicación de RF incrementa el contenido. La aplicación de inoculo1 más RF incrementa 12 % del contenido de P a relación de las plantas sin inocular (Figura 15).



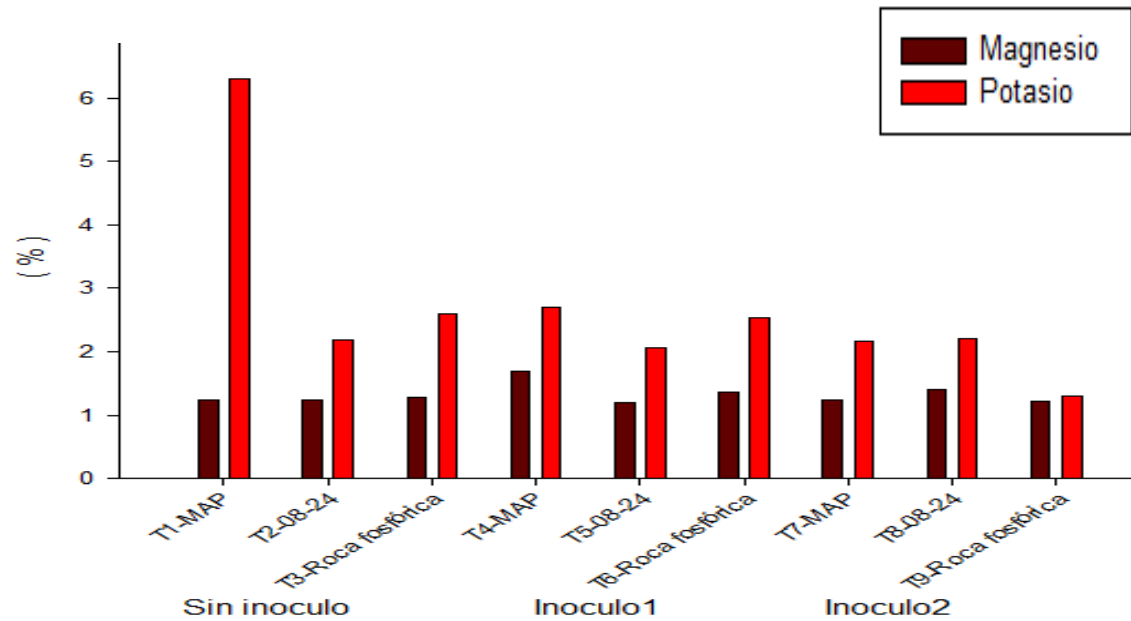
**Figura 15.** Analisis foliar de fosfatos en la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P.

Con la aplicación de los biofertilizantes más las fuentes de P no se observa interacción. El porcentaje de calcio en los Biofertilizantes en relación a las plantas sin inocular es similar, incluso en algunos casos con un porcentaje más bajo (Figura 16).



**Figura 16.** Analisis foliar de Calcio en la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P

Las plantas inoculadas con los biofertilizantes tiene un porcentaje de magnesio similar a las plantas sin inocular (Figura 17). El porcentaje de potasio es mayor o similar en algunos tratamientos en relacion con las plantas sin inocular (Figura 16).



**Figura 17.** Anali foliar de los minerales de la plantas de tomate inoculadas con los biofertilizantes y testigos sin inocular, aplicadas con las fuentes de P.

## V. DISCUSIÓN

El resultado de la investigación se obtuvo una significancia en la interacción de los biofertilizantes a base de hongos con las fuentes de P en el peso seco de la parte aérea de las plantas y en la biomasa total de la misma, de tal forma indica una tendencia numérica diferente, así como un aumento de P en el análisis de suelo. Los biofertilizantes que contienen microorganismos con la aportación de las fuentes de P realizan un incremento de absorción de minerales que favorecen a un desarrollo de la parte aérea de la planta.

Con relación a las variables de crecimiento evaluadas, diversos autores (Chambers y Yeomans 1990, 1991; Gleddie *et al.* 1991; Gleddie 1993, Leggett *et al.* 1993; Beckie *et al.* 1998) coinciden que la inoculación con los hongos del género *Penicillium* han aumentado la absorción de P, lo cual incrementa el crecimiento y rendimiento de varias especies de cultivos, independientemente del suelo y las condiciones de producción. Así mismo los estudios de Banerjee *et al.* (2010) señala que la inoculación de suelos o semillas con microorganismos solubilizadores de fosfato mejora el crecimiento y la producción de los cultivos. Por su parte, Irizar-Garza *et al.* (2003) ha comprobado que la aplicación de diversas combinaciones de hongos utilizados como biofertilizantes en diferentes plantas tiene un efecto sinérgico en la nutrición de la planta y favorece el desarrollo vegetativo y reproductivo.

Los resultados relacionados al aumento de P en suelo coinciden con Downey y Van Kesseel (1990) citados por Whitelaw, (2000) que señalan que el nivel de fósforo disponible en el suelo puede tener un incremento o tendencia a disminuir con la adición de roca fosfórica e inoculación de hongos. Por otro lado Chakraborty *et al.* (2010) realizaron estudios donde muestran la capacidad que tiene algunos hongos solubilizadores de fosfato, aislados de suelo agrícola, para promover el crecimiento en las plántulas de soya, ellos encontraron que la cepa *Aspergillus niger* RSP-14 fue la que mayormente promueve el crecimiento



de la plántulas. En dicho estudio el contenido de fósforo en el suelo disminuyó debido a la actividad de los microorganismos mientras que la concentración de fósforo en las raíces mostró un incremento significativo. Coutinho *et al.* (2012) señalan que el género *Peicillium* sp. ha sido ampliamente estudiado por su habilidad de solubilizar el P que permite aumentar la disponibilidad de P unido a Ca, Fe y Al para los cultivos.

Los hongos tiene capacidad de producir y sintetizar ácidos orgánicos, enzimas y fitohormonas y estos mecanismos se han señalado como responsables de aumentar la solubilidad de las distintas fuentes de P, esto permite a las plantas aumentar su capacidad de absorción de nutrientes y por lo tanto su crecimiento.

Richardson y Simpson (2011) señalan que los microorganismos que se encuentra en la rizosfera puede aumentar el crecimiento de raíces o estimular el crecimiento del pelo radicular a través de la producción de fitohormonas, o la alteración de la membrana de la superficie de la raíz y en el flujo de salida de iones. Por otro lado Idriss *et al.* (2002) menciona que los hongos como *Aspergillus* y *Penicillium* producen enzimas extracelulares denominadas fitasa las cuales estimulan el crecimiento vegetal por aumento en la disponibilidad de fosfatos. Del mismo modo Graham y Miller (2005) indican que los microorganismos que colonizan la rizósfera pueden excretar enzimas con actividad fosfatasa que hidrolizan mono, di y tri ésteres de fosfato y ácidos orgánicos los cuales incrementa la disponibilidad del P.

Wakelin *et al.* (2004) indica que la utilización de los biofertilizantes han sido exitosa y puede emplearse como alternativa a la fertilización convencional. Waklein como Patiño (2010) coinciden que la inoculación de *penicilliu bibilae* y *radicum* ha tenido efectos benéficos a las plantas (o en las zonas de cultivo) en las cuales ha sido utilizado como biofertilizantes.

Las variables de peso seco de raíz y la longitud de raíz con la aplicación de los biofertilizantes hay significancia entre los inóculos y sin inocular, sin embargo la longitud de raíz hay significancia entre las fuentes de P. En volumen de la raíz no se encuentra diferencia entre los factores biofertilizantes y fuentes de P.

Lo anterior coincide con Vessey y Heisinger (2001) donde señala que un estudio se evaluó plantas de Maíz inoculadas con microorganismo obteniendo una respuesta positiva al desarrollo diferencial del sistema radica e incrementan la eficiencia de la absorción de P. En evaluaciones previas Irizar-Garza et al., (2003), se ha comprobado que la aplicación de diversas combinaciones de hongos han sido utilizadas como biofertilizantes en diferentes plantas, generalmente tiene un efecto sinérgico en la nutrición de la planta y su vinculación a beneficiar el desarrollo vegetativo y reproductivo (Irizar-Garza et al., 2003).

Díaz-Zorita y Fernández (2008) indican que la incorporación de organismos es una alternativa para lograr aumentos en el desarrollo y producción de los cultivos, favoreciendo el crecimiento radical para mejora la disponibilidad de agua y nutrientes limitantes, como resultado se reduce el proceso de pérdida de nutrientes móviles, se moderan los periodos de estrés hídrico y se logra mantener un crecimiento activo del cultivo mejorando su capacidad fotosintética.

## **VI. CONCLUSIONES**

La interacción de las plantas inoculadas con los Biofertilizantes y las fuentes de P son significativas en algunas variables como es el peso seco de la parte aérea y la biomasa total obteniendo una tendencia aumentar en crecimiento de la planta con aportación de las fuentes de P que son RF y fertilizante líquido (08-24) en relación a las plantas inoculadas.

En esta investigación sugiere que la aplicación de los Biofertilizantes modifica el contenido de P con el Inoculo1 mas RF incrementa 12 % en relación a las plantas sin inocular, obteniendo así mayor disponibilidad P para las plantas con el uso de fertilizantes poco solubles.

El uso de los biofertilizantes es un recurso amigable con el medio ambiente, es de menor costo y es una alternativa para disminuir las grandes cantidades de la aplicación de fertilizantes químicos, obteniendo resultados similares.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Achal V., Savant V., Reddy M. (2007). Solubilización de fosfato por una cepa de tipo salvaje y mutantes inducidos por UV de *Aspergillus tubugensis*, en tierra. *Biol. Biochem*, (39), 695-699.
- Adesemoye, A. O., y Kloepper, J. W. (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, (85), 1-12.
- Aguirre, M. J. F., Irizar, G. M. B., Duran, P. A., Grajeda, C. O. A., Peña del Rio, M. A., Loredó, O. C., Gutiérrez, B. A. (2009). Los biofertilizantes microbianos, alternativa para la agricultura en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Campo Experimental Rosario Iztapar, Tuxtla Chico, Chiapas, México.
- Aguado –Santacruz G.A. (2012). Uso de microorganismo como biofertilizantes. In: Aguado-Santacruz, G.a (ed). *Introducción al uso y manejo de os biofertilizantes en la agricultura*. INIFAP/SAGARPA. México, 1-22.
- Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., (2012). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26 (2), 191-203.
- Alam, S., Khalil, S., Ayub, N., y Rashid. M. (2002). In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) from maize rhizosphere. *Int. J. Agr. Biol*, (4), 454–458.
- Arai y Sparks, D.L. (2007). Dinámica de las reacciones de fosfato en los suelos y los minerales del suelo. Un enfoque de múltiples escalas. *Adv Agron*, 94(1), 135 – 179.
- Armenta, B. A. D., García, G. C., Camacho, B. J. R., Apodaca, S. M. A., Montoya, L. G., Nava, P. E., (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra-Ximhai* (6), 51- 56.
- Asea, P.E.A., Kucey, R.M.N., y Stewart, J.W.B. (1988). Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture. *Soil Biol. Biochem*, (20), 459-464.
- Awasthi, R., Tewari, R., Nayyar, H. (2011). La sinergia entre las plantas y los microbios solubilización de P en suelos: efectos sobre el crecimiento y la fisiología de los cultivos. *Revista Internacional de Investigación de Microbiología*, 2(12), 484-503.

- Banerjee, S., Palit, R., Sengupta, C., Standing, D. (2010). Stress induced phosphate solubilization by *Arthrobacter sp.* and *Bacillus sp.* Isolated from tomato rhizosphere. *Australian Journal of crop science*, 4(6), 378-383.
- Babu-Khan, S., Yeo, T. C., Martin, W. L., Duron, M. R., Rogers, R. D., and Goldstein, A.H. (1995). Cloning of a mineral phosphate solubilizing gene from *Pseudomonas cepacia*. *Appl. Environ. Microbiol.*, (61) 972–978.
- Batti, T., Yamar, W. (2010). Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. *Hidrometallurgy*, (103), 54-59.
- Beltrán, M. (2009). Evaluación del efecto del sistema de producción del cultivo del arroz (secano e inundado) sobre la población microbiana y la actividad enzimática asociada al metabolismo edáfico del fósforo (tesis de Maestría en Ciencias- Microbiología). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.
- Bobadilla, C., Rincón, S. (2008). Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido a partir de residuos de plaza (tesis de grado Microbiología Industrial). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá
- Brink, J. (1977). World resources of phosphorus. *Ciba Foundation Symposium*, Sept, 13(15), 23-48.
- Cabrera, C., Giménez, R., López, M.C.( 2003). Determination of tea components with antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(15), 4427–4435.
- Caballero T., Camelo M., Bonilla R., Martínez M. (2007). Determinación de Actividad Fosfato solubilizadora por bacterias aisladas a partir de suelos algodoneros en los Departamentos del Cesar y Meta. *Suelos Ecuatoriales*, (37), 6.
- Cantwell, M. (2004). Fresh Market Tomato. Statewide Uniform Variety Trial Report Field and Postharvest Evaluations. Universidad de California. South San Joaquin Valley, EE.UU.
- Castellanos, J. Z. (2009). Manual de producción de tomate en invernadero. Celaya, Guanajuato, México, Intagri, S. C. 458 p.
- Calderón, V. C., Alatorre C. F., Simpson W. J., and Herrera E. L. (2009). Maize under phosphate limitation. In: J.L. Bennetzen and S.C. Hake (eds.). *Handbook of Maize: Its Biology*, 381-404.
- Chakraborty, B., Chakraborty, U., Sha, A., Sunar, K., Dey, P. (2010). Evaluation of phosphate solubilizers from soils of North bengal and their diversity analysis. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 195-200.

- Chardon, W.J., Aalderink, G.H., Van der Salm, C. (2007). Phosphorus leaching from cow manure patches on soil columns, (36), 17-22.
- Chun–Chao, C., Yu–Lin, K., Chen–Ching, C., Wei–Liang, C. (2007). Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. *Biol. Fertil. Soils*, (43), 575–584.
- CNPO (2010). Página web. <http://www.cnpo.org.mx>. Consultado el 14 de marzo del 2016.
- Corominas, J. (1990). Breve diccionario Etimológico de la lengua castellana. Ed. Gredos. Madrid. 145 p.
- Coronel, J., Castillo, P. (2009). Alternativas de mejora en el manejo postcosecha de tomate riñón cultivado en la provincia de Santa Elena. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.
- Coyné, M. (2000). Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Madrid: Editorial panamericana, 180–185.
- Cordell, D., White, S. (2011). Peak Phosphorus: Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorus Security. *Sustainability*, (3), 2027-2049.
- Cordell, D., Drangert J.O., White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, (19), 292-305.
- Coutinho, F., Cavalcanti M., Mayumi, A. (2012). Phosphatesolubilizing fungi isolated from a semiarid area cultivated with melon (*Cucumis melo* L. cv. gold mine) *Acta Botánica Brasilica*, 25(4), 929-931.
- Cueto, M. (2010). Determinación del Efecto Inhibitorio del Aceite Esencial y Diferentes Extractos de Orégano (*Lippia berlandieri schauer*) sobre el Crecimiento de *Fusarium oxysporum* tanto In Vitro como en Plántula de Tomate. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México D.F., México..
- Curtis, P. (1996). Aspectos de la morfología de angiosperma cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. 134 p.
- Dighton, J. (2007). Nutrient cycling by saprotrophic fungi in terrestrial habitats. In: Kubicek, C. P., and I. S. Druzhinina (eds). *Environmental and Microbial Relationships*. Second edition. The Mycota. Springer–Verlag, Berlin Heidelberg, 287–300.
- Díaz-Zorita, M., Grove, J.H., y Perfect, E. (2008). Impact of soil water content and core sampler diameter at sampling for dry soil fragment size distributions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 39(17-18), 2752-276.

- Dix, N.J., and Webster, J. (1995). Fungal ecology. Chapman and Hall, London
- Documento en línea.  
Disponible:<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/11926>.  
Consulta: 11 abril 2016.
- Dorais, M., Ehret, D. L., Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components, from the seed to the consumer. *Phytochem Rev*, (7), 231–250.
- Downey, J., Van Kessel, C. (1990). Dual inoculation of *Pisum sativum* with *Rhizobium leguminosarum* and *Penicillium bilaii*. *Biol. Fertil. Soil*, (10), 194–196.
- Espinoza, V. J. L., Palacios, E. A., Ávila, S. N., Guillén, T. A., De Luna P, de la R., Ortega, P. R. y Murillo, A. B. (2007). La ganadería orgánica, una alternativa de desarrollo pecuario para algunas regiones de México. Una revisión. *INCI*, 32(6), 385-390.
- Esquinas-Alcázar, J., Nuez, F. V., (2001). Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. In: *El Cultivo del Tomate*. F. Nuez. Mundi Prensa. España, 13-42.
- Engelstad, G.L. (1980). Terman Agronomic effectiveness of phosphate fertilisers F.E. Khasawneh, E.C. Sample, J. Kamparth (Eds.), *The Role of Phosphorus in Agriculture*, American Society of Agronomy, Madison, USA, 311–332.
- Fankem, H., Nwaga, D., Deubel, A., Dieng, L., Merbach, W., y Etoa, F. X., (2006). Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African J. Biotech*, (5), 2450-2460.
- FAO. (2015). Página web de la FAO. Producción a nivel mundial. Disponible en: [www.fao.org/statistics/es/](http://www.fao.org/statistics/es/). Consultado el 2 de marzo del 2016.
- FAO. (2013). Página web de la FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación Disponible en: [www.fao.org/docrep/018/i3301s/i3301s.pdf](http://www.fao.org/docrep/018/i3301s/i3301s.pdf) Consultado el 3 de marzo del 2016.
- FAO. (2013). Bases de datos estadísticos FAOSTAT. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> .Consultado el 5 de marzo del 2016
- FAO. (2002). Página web de la FAO. Día Mundial de la Alimentación. Disponible en: <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2002/9700-es.html>. Consultado el 11 de marzo del 2016.

- FAS-USDA (Foreign Agricultural Service-United States Department of Agriculture). (2001). Base de Datos. Washington, D. C. USA. Internet: <http://www.fas.usda.gov>.
- Fernández, V., Tapia, G., Varela, P., Videla, L.A. (2005). Redox regulation of thyroid hormone-induced Kupffer cell-dependent I $\kappa$ B- $\alpha$  phosphorylation in relation to inducible nitric oxide synthase expression. *Free Radic. Res*, (39), 411-418.
- FIBL (2016). Página web. <http://www.fibl.org/en/homepage.html>. Consultado el 13 de marzo del 2016.
- Garza, L. J. (1985). Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia, UACh. Chapingo, México.
- Giaconi, M. V., Escaff, G. M. (2004). Cultivo de hortalizas. Santiago, Chile. Editorial Universitaria, (15), 337.
- Girvan, M. S., Bullimore, J., Ball, A. S., Pretty, J. N., Osborn, A. M. (2004). Las respuestas de los activos de bacterias y hongos en suelos bajo la Comunidades de trigo de invierno a diferentes regímenes de fertilizantes y plaguicidas. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(5), 2692-2701.
- Grageda-Cabrera, O. A., Mora, M., Castellanos, R. J. Z., Follet, R. F., Peña-Cabriales, J. J. (2003). Fertilizer nitrogen recovery under different tillage treatments and cropping sequences in a vertisol in central México. *IAEA-TECDOC*, (1354), 39-55.
- Graham J., Miller R. (2005). Mycorrhizas: gene to function. *Plant and Soil*, (274), 79–100.
- Goenadi, D.H., Siswanto, R., Sugiarto, Y. (2000). Bioactivation of poorly soluble phosphate rocks with phosphorus-solubilizing fungus. *Soil Science Society of America Journal* (64), 927-932
- Goldstein, Alan., Krishnaraj, P. (2007). Microorganismos solubilizadores de fosfato. Fosfato de movilización de microorganismos: lo que separa a un fenotipo de un rasgo. En: Primera reunión internacional sobre microbiana solubilización de fosfato: Springer, Dordrecht, 203–213.
- Gómez, Y., Zabala, M. (2001). Determinación de la capacidad solubilizadora del P en hongos aislados de la rizósfera del maní (*Arachis hypogaea L.*) Saber. Universidad de Oriente, Venezuela, 13(1), 8-13.
- Goldstein, A. H. (1995). Los recientes avances en la comprensión de la genética molecular y la bioquímica de la solubilización del fosfato de calcio por bacterias gram negativas *Biol. Agric. Hortic*, (12), 185–193.



- Gunther, J. *et al.* (2005). Generation and functional in vivo characterization of a lipid kinase defective phosphatidylinositol 3-kinase Vps34p of *Candida albicans*. *Microbiology*, 151(1), 81-9.
- Gyaneshwar, P., Kumar, V., Parekh, L., Poole, S. (2002). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*, (245), 83–93.
- Hammond, L. L., Day, D.P. (1992). La normalización de roca fosfática y la calidad del producto. En: A.T Bachik y A. Bidin, eds. *Procediendo de un taller sobre la fuente de fosfato para suelos ácidos en el trópico de Asia*, 73 – 89 p
- Halder, A. K., Mishra, A. K., Bhattacharya, P., Chakrabartty, P. K., (1990). Solubilización de fosfato de roca por *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, (36), 81–92.
- Harris, J., New, P., Martin, P., (2005). Las pruebas de laboratorio pueden predecir los efectos beneficiosos de las bacterias - solubilización de fosfato en las plantas *Biol. Biochem*, (38), 1521-1526.
- Hernández, C. S. (2011). Producción de tomate en diferentes granulometrías de tezontle. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, 107 p.
- Hilhorst, H. W. M., Groot, S. P. C., Bino, R. J. (1998). Las semillas de tomate como un sistema modelo para estudiar el desarrollo de semillas de una germinación. *Acta Botánica Neerlandica*, (47), 169-183.
- Holford, I. C. R. (1997). Fósforo del suelo: su medición, y su absorción por las plantas. *Aust J Soil Res*, (35), 227–239.
- Idriss E.E., Makarewicz O., Farouk A., Rosner K., Greiner R., Bochow H., Richer T., Borriss R... 2002. Extracellular phytase activity of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 contributes to its plant growth promoting effect. *Microbiology*. 148: 2097-2109.
- IFA. (2011). Página web de la IFA. Coordinación general de minería dirección general de desarrollo minero. Disponible en: [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/mineria\\_estadisticas\\_300513/estadisticas\\_perfiles\\_fosforita\\_0513.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/mineria_estadisticas_300513/estadisticas_perfiles_fosforita_0513.pdf). Consultado el 11 de marzo del 2016.
- IFOAM (2014). Página web de la IFOAM. Los Reglamentos Europeos para la Agricultura y Alimentación Ecológica. Disponible en: [http://www.ifoam-eu.org/sites/default/files/page/files/ifoameu\\_reg\\_regulation\\_dossier\\_201204\\_es\\_0.pdf](http://www.ifoam-eu.org/sites/default/files/page/files/ifoameu_reg_regulation_dossier_201204_es_0.pdf). Consultado el 13 de marzo del 2016.

- Igual, J. M., Valverde, A., Cervantes, E., Velazquez, E. (2001). Bacterias solubilizadoras de fosfatos como inoculantes para la agricultura: el uso de técnicas moleculares actualizadas en su estudio. *Agronomie*, (21), 561–568
- Illmer, P., Schinner, F. (1995). La solubilización de los mecanismos de fosfatos de solubilización de calcio inorgánico. *Suelo. Biol. Biochem*, 27(3), 257-263.
- Irizar-Garza, M. B., Vargas-Vargas, P., Garza-García, D., Tut-Couoh, C., Rojas-Martínez, I., Trujillo-Campos, A., García-Silva, R., Aguirre-Montoya, D., Martínez-González, J.C., Alvarado-Mendoza, S., GragedaCabrera, O., Valero-Garza, J., AguirreMedina, J.F. (2003). Respuesta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*, 29(002), 213-225.
- Jasinski, S. M., (2006). Roca fosfórica estadísticas e información. US Geological Survey.
- Jones, D. L., Dennis, P. G., Owen, A. G., Van Hess. P. A. W. (2003). El comportamiento ácido orgánico en los suelos vegetales, (248), 31–41.
- Khan, M. S., Zaidi, A., Ahemad, M., Oves, M., Wani, P. (2007). La perspectiva del crecimiento de las plantas por medio de los hongos solubilizadores de fósforo. *Archivos de agronomía y ciencias de suelo*. 56(1), 73-96.
- Larry, R., Joanne, L. (2007). Los recursos genéticos de tomate. In: Razdan MK, Mattoo AK, editors. *Genetic improvement of solanaceous crops*. (2). Enfield, NH: Science Publishers. *Tomato*
- León, W.E. 2009. Evaluación Ambiental de la Producción del Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), bajo Condiciones Protegida en las Palmas de Gran Canaria, España, mediante la Utilización de la Metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), 2007-2009. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España
- Lewis, N.B., Ferguson, I.S. (1993). *Management of Radiata Pine*. Inkata Press. Melborne, Sydney. Australia
- Maathuis, F. J. M. (2009). Funciones fisiológicas de los macronutrientes minerales. *Current Opinion in Plant Sciences*, (12), 250-258.
- Marschner, H. 1995. *La nutrición mineral de las plantas* 2 Edición. Academic press, San Diego 889 p.
- Marald, E. (1998). El encuentro entre la Agricultura y Química. *Agrikulturkemins framvaxt pa Lantbruksakademiens experimentalfält 1850-1907*.

- Maroto Borrego J. V. (2002) Horticultura herbácea. Especial, 5ª edición. Madrid. Ed. Mundi-Prensa. 702 p.
- Medina, C., Paredes, C., Pérez-Murcia, M., Bustamante, M., Moral, R. (2009). Spent mushroom substrate as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Rev Bioresource Technol*, (100), 4227-4232.
- Muleta, D., Assefa, F., Börjesson, E., Granhall, U., (2013). Rizobacterias solubilizadoras de fosfatos asociado con *Coffea arabica* L. en los bosques naturales de café suroeste de Etiopía. *J. Saudi Soc. Agric.Sci*, (12), 73–84.
- Navarro, B. S., Navarro, G. G. (2003). Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal, 2. Ed., Mundi-prensa, España.
- Nisen, A., Grafiadellis, M., Jiménez, R., Martínez, G. P., Monteiro, P. (1990). Cultivo protegido en el clima Mediterráneo. FAO. Plant production and protection paper No. 90. Rome Italy.
- Nuez, F. (2001). El cultivo de tomate. Ed. Mundi prensa. Barcelona. E. 16-18.
- Nuez, F. (1999). El cultivo del tomate. 2da ed. Ediciones Mundi-Prensa Libros., Madrid.
- Oberson, A., Friesen, D.K., Rao, I.M., Beuhler, S., Frossard, E. (2001). Transformaciones de fósforo en un Oxisol bajo contraste sistemas de uso de la tierra: el papel de la biomasa microbiana del suelo, (237), 197–210.
- Patiño, C. (2010). Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del Valle del cauca. Estudio de biodiversidad y eficiencia (tesis doctoral en Ciencias Agropecuarias - Manejo de Suelos y Aguas). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Paiva-Coutinho, F., Wagner-Pereira, F., Mayumi, A. (2012). La solubilización de fosfatos en vitro por *Aspergillus spp.* Y *Penicillium spp.* *Ecol Eng*, (42), 85-89.
- Peix, A., Rivas-Boyer, A. A., Mateos, P. F., Rodríguez-Barrueco, C., Martínez-Molina, E. Velázquez, E. (2001). La promoción del crecimiento de garbanzos y cebada por una cepa de solubilización de fosfato de *Mesorhizobium mediterraneum* en condiciones de cámara de crecimiento. *Soil Biol Biochem*, (33), 103–110.
- Peralta, I. E., Spooner, D. (2007). Historia, origen y cultivo temprano del tomate (*Solanaceae*). El mejoramiento genético de los cultivos de solanáceas M. K. Razdan and A. K. Mattoo. Enfield (NH), Science Publisher, (2), 1-24.

- Pérez, G. M., Castro, B. R. (1999). Guía para la Producción Intensiva de Jitomate en Invernadero. Boletín Núm. 3. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo 58 p.
- Pérez, V. A., Landeros, S. C. (2009). Agricultura y deterioro ambiental. Elementos: Ciencia, Arte y Cultura, 16(73), 19-25.
- Pérez, A., De la Rosa J., Montes, D. (2012). Hongos solubilizadores de fosfatos en fincas ganaderas del departamento de Sucre. Rev. Colombiana Cienc. Anim, 4(1), 35-45.
- Pramanik. P., Bhattacharya. S., Bhattacharyya P., Banik. P. 2009. La solubilización de fósforo de la roca fosfórica en presencia de humus de lombriz en Aqualfs. Geoderma, (152), 16-22.
- Rajan. S., Watkinson, J. H., Sinclair, A. G. (1996). Rocas de fosfato para la aplicación directa a los suelos. Advances in Agronomy, (57), 77-159.
- Reddy. S., Kumar. S., Babita. K. (2002). Biosolubilizadores de Roca de fosfato poco solubles por *Aspergillus tubigensis* y *Aspergillus niger*. Bioresource Technology, (84), 187-189.
- Reyes. I., Baziramakenga. L., Bernier. H., Antoun. H. (2001). Solubilización de rocas y minerales de fosfato por una cepa de tipo salvaje y dos mutantes inducidos por UV de *Penicillium rugulosum*. Soil Biology and Biochemistry, (33), 1741-1747.
- Ríos, D., Santos, B., Díaz, D., García, N. (2003). Ensayos de cultivares de tomate de exportación en Tenerife: II. Comportamiento en postcosecha. Agrícola Vergel: Fruticultura, Horticultura, Floricultura, (262), 504-511.
- Richardson, A. E., Hadobas, P. A., Hayes, J.E., O'Hara, C.P., Simpson, R. J. (2011). Utilización de fósforo por las plantas de pasto suministrados con hexafosfato de myo -inositol se ve reforzada por la presencia de los microorganismos del suelo. Plant Soil, (229), 47-56.
- Rosmarin, A. (2004). Las geopolíticas precarias de fósforo en la tierra. Science and Environment Fortnightly, 27-31.
- Rodríguez R. R., Tavares, R. J. M., y Medina J. J. A. (2001). Cultivo Moderno del Tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Rooney, D., Clipson, N. (2009). Especies de suma importancia para la planta absorba el fosfato altera de la estructura de la comunidad microbiana en el suelo de tierras altas praderas ácida. Microb. Ecol, (57), 4-13.
- Rossi, S., Rollan, A., Bachmeier, A. (2006). Biodisponibilidad de fosforo en un suelo del sur de Santa Fe (argentina). Efectos de dos fuentes fosfatadas y sus mezclas con urea. Agriscientia, (91), 07.

- Rubio G. (2002). Conectando el fósforo del suelo con la planta. *Informaciones agronómicas del cono sur*, (16), 19-23.
- Sahu, S. N., Jana, B. B. (2000). Mejora del valor fertilizante de fosfato de roca de ingeniería a través de las bacterias de solubilización de fosfato. *Ecological Engineering*. 15(1-2), 27–39.
- Sanchez, Ch. A. (2007). Fósforo. In: Barker, A. V. and Pilbean, D. J. (Editors). *Manual of plant nutrition*, 51-90.
- SAGARPA. (2010). Documento PDF de la SAGARPA. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf>. Consultado el 8 de marzo del 2016.
- Salunkhe, D. K. (1998). Tomate: Manual de la ciencia y la tecnología vegetal. La producción de almacenamiento y el procesamiento. D. K. Salunkhe y S. S. Kadam, eds., 171-201.
- Shi, J., Le Marguer, M. (2000). Licopeno en los tomates: propiedades químicas y físicas afectadas por la elaboración de alimentos. *Crit. Rev. Biotechnol*, (20), 293-334.
- SIAP. (2014). Obtenido de SIACON, programa informático y estadístico del SIAP. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 7 de marzo del 2016.
- SIA – Huaral. (2002). Ficha técnica del Cultivo de Tomate.
- Smil, V. (2000). *Alimentar al mundo: un reto para el siglo 21*. The MIT Press, Cambridge.
- Smith, A. F. (1994). *El tomate en América: historia temprana, la cultura y la cocina*. Universidad de Carolina del Sur Press, Columbia, C.C., EEUU.
- Smit, A.L., Bindradan, P.S., Schröder, J.J., Conijn, J.G. and van der Meer, H.G. (2009). *El fósforo en la agricultura: los recursos mundiales, tendencias y desarrollos*. Wageningen: Plant Research International.
- Strobel, B. W. (2001). Influencia de la vegetación en los ácidos carboxílicos de bajo peso molecular en la solución del suelo: Una revisión. *Geoderma*, (99), 169–198.
- Steen, I. (1998). La disponibilidad de fósforo en el siglo 21. La gestión de un recurso no renovable. *El fósforo y el potasio*, (217), 25-31.

- Suslow, T.V. and Cantwell, M. (2000). Tomate. Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Datos de Productos Frescos. <http://postharvest.ucdavis.edu>.
- Sudhakara, M., Kumar, S., Babita, K., Reddy, M. (2002). Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology* 84 187-189
- Tea Tecnología Agrícola Avanzada fertilizante y fertilizante líquido, 2016.
- The World of Organic Agriculture (2016). Página web. <https://shop.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1698-organic-world-2016.pdf>. Consultado el 13 de marzo del 2016.
- Tilman, D., Reich, P.B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., Lehman, C. (2001). La diversidad y la productividad en un experimento de pastizales a largo plazo. *Ciencia*, (294), 843–845.
- Vaccari, D. (2009). Fósforo una crisis que se avecina. *Científico americano*, (300), 54-59.
- Valadez, L. A. (1990). Producción de Hortalizas. Edit. Limusa. México, D.F.
- Vassileva, M., Azcon, R., Barea, J., y Vassilev, N. (2000). Solubilización de roca de fosfato por las células libres y encapsulados de *Yarrowia lipolytica*. *Proceso Biochem*, (35), 693-697.
- Van Kauwenbergh, S. (2010). Reservas Mundiales de Roca de fosfato y recursos, Boletín Técnico IFDC 75. Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes (IFDC), Muscle Shoals, Alabama, USA.
- Van Vuuren, D. P., Bouwman, a. F., Beusen, a. H. W. (2010). La demanda de fósforo para el período 1970-2100: Un análisis de escenarios de agotamiento de los recursos. *Cambio Ambiental Global*, 20(3), 428–439.
- Vincent, J.B., Crowder, M.W. & Averill, B.A. (1992). La hidrólisis de mono ésteres de fosfato: un problema biológico con múltiples soluciones químicas. *Trends Biochem. Sci*, (17), 105.
- Wakelin, S., Warren, A., Harvey, R., Ryder, H. (2004). Phosphate solubilization by *Penicillium* sp. closely associated with wheat roots. *Biol. Fert. Soils*, (40), 36-43.
- Whitelaw, M. A. (2000). La promoción del crecimiento de las plantas inoculadas con hongos solubilizadores de fosfato. *Adv Agron*, (69), 99-151.
- Wien, H.C. (1997). Trasplante. En: *La Fisiología de Cultivos Vegetales*. H. C. Wien (Ed.) Editorial CAB International, 37-69.

- Wisuma, M. (2003). How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency?. Small causes with big effects. *Plants Physiol*, (133), 1947-1958.
- Xiao, C., Chi, R., Li, X., Xia, M., Xia, Z. (2011). Biosolubilizadores de fosfato de roca por tres cepas de hongos tolerantes al estrés. *Appl. Biochem. Biotechnol*, (165), 719–727.
- Zapata, F., Roy, R. N. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. *Boletín FAO fertilizantes y nutrición vegetal*, (13), 3-10.
- Zhang, H., Wu, X., Li, G., y Qin, P. (2011). Las interacciones entre los hongos micorrízicos arbusculares y hongos de solubilización de fosfato (*Mortierella sp.*) Y sus efectos sobre *Kosteletzkya virginica* actividades de crecimiento y enzimas de la rizosfera y suelos a granel a diferentes salinidades. *Biología y Fertilidad de Suelos*, (47), 543–554.
- Zyomuya, F. Helgason, B.L., Larney, F.J., Janzen, H.H., Akinremi, O.O. and Olson, B.M. (2006). La predicción de la disponibilidad de fósforo del estiércol compostado corral de engorde de ganado y no compostada aplicaciones al suelo. *Journal of Environmental Quality*, (35), 928-937.

## APENDICE



Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F- Valor	Pr > F
Modelo	11	8798.88889	799.89899	2.13	0.0585
Error	24	8997.33333	374.88889		
Total correcto	35	17796.22222			

Cuadro 1. Análisis de varianza de los pesos seco de la parte aérea de la planta de tomate.

Cuadro 2. Análisis de varianza peso seco de la raíz de la planta de tomate.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F- Valor	Pr > F
Modelo	11	452.666667	41.151515	1.48	0.2033
Error	24	667.555556	27.814815		
Total correcto	35	1120.222222			

Cuadro 3. Análisis de varianza de la biomasa total de la planta de tomate.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F- Valor	Pr > F
Modelo	11	10447.77778	949.79798	1.98	0.0816
Error	24	11635.11111	484.79630		

Total correcto	35	22082.88889			
----------------	----	-------------	--	--	--

Cuadro 4. Análisis de varianza de la longitud de la raíz de la planta de tomate.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F- Valor	Pr > F
Modelo	11	850.777778	949.79798	1.98	0.0816
Error	24	882.444444	484.79630		
Total correcto	35	1733.222222			

Cuadro 5. Análisis de varianza del volumen de la raíz de la planta de tomate.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F- Valor	Pr > F
Modelo	11	13.58333333	1.2348448	0.57	0.8344
Error	24	52.05555556	2.16898148		
Total correcto	35	65.63888889			

