

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Aspergillus niger Como Solubilizador de Fosfatos y Promotor del Crecimiento Vegetal
de *Solanum lycopersicum* y *Capsicum annuum*

Por:

JAVIER ELIOREP RODRIGUEZ RODRIGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Enero 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Aspergillus niger Como Solubilizador de Fosfatos y Promotor del Crecimiento Vegetal
de *Solanum lycopersicum* y *Capsicum annuum*

Por:

JAVIER ELIOREP RODRIGUEZ RODRIGUEZ


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de


INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO


Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Asesor Principal


MC. Omar Jiménez Pérez
Asesor Principal Externo


MC. Fidel Maximiano Peña Ramos
Coasesor


Dr. Epifanio Castro del Ángel
Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de
Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Enero 2023

NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



Javier Eliorep Rodriguez Rodriguez

AGRADECIMIENTOS

A mi poder supremo, por ser mi guía y protección en todo momento, por darme la fortaleza cada día, por darme vida y salud para cumplir un objetivo más en este camino llamado vida.

A mi ALMA TERRA MATER Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Saltillo, por brindarme todas las herramientas necesarias para mi formación académica y hacerme un profesionista y poder encontrar personas especiales durante mi estancia.

Al Dr. Gabriel Gallegos Morales por todo el apoyo y confianza brindada durante mi trabajo de tesis y la carrera. Una gran admiración por su trabajo y amistad.

Al M.C. Omar. Jiménez Pérez por todo el tiempo dedicado y todos los consejos para mejorar profesionalmente.

Al M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos por el tiempo y la dedicación además de sus consejos y contribuciones en los problemas estadísticos.

Al Dr. Epifanio Castro del Ángel, por la gran amistad brindada durante la carrera.

A todos los profesores que impartieron un poco de su sabiduría en mi formación académica, en especial al M.C. Víctor Sánchez Valdés y al M.C. Charles Cárdenas grandes profesores que han partido a una nueva vida.

A mis amigos: Jesús Eduardo Ortega Delgado que siempre ha estado para mí en todo momento a Martín Torres Mora, Roberto Rendón Manzano, Eder Iván Guillen Mercado y a todos los que no he mencionado y que les tengo una gran amistad.

A mis familiares J. Pablo C. M., Alex M.C., Rubén C. M. y a todos los que no pude mencionar.

DEDICATORIAS

A mis padres por hacerme un hombre de bien y apoyarme para llegar y cumplir esta faceta de mi vida, especialmente a Ana Luisa Rodríguez Molina Mi Madre por ser la persona que siempre estuvo ahí, si sirvieron los correctivos que me diste en esta vida porque ya vas a tener un hijo ingeniero, te Amo mucho Madre y te agradezco por todo y cuanto has hecho por mí.

A mi Abuela Irma Molina Valdovinos, por ser la persona que me crio desde muy chiquito, por ser quien me dio muchos valores para poder ser una persona de bien en esta vida, siempre estaré agradecido de ser tu nieto y de que hayas sido mi abuela te amo mucho.

A Javier Rodríguez Gaona mi abuelo y la persona que me inculco el primer aprendizaje de agronomía que tuve en esta vida, siempre serás para mí un ejemplo a seguir, espero algún día poder llegar a cubrir su legado, ya que es una persona con mucha sabiduría y muchos valores.

A mi tío Francisco Javier Rodríguez Molina e hijos Liz y Edgar que forman parte importante de mi vida, que para mí son como mis hermanos.

A Samantha Soria y Fernanda Soria, gracias por el apoyo brindado en todos los sentidos, agradezco el poder convivir y con ello formar un lazo muy grande, casi casi mi nueva familia de Saltillo.

Especialmente estas palabras para María del Carmen Guijón Torres, por ser la persona con la cual compartí los momentos más lindos en la carrera, le agradezco a Dios el poder haber coincidido y poder ser parte de momentos felices, momentos de reflexión, por estar siempre, después de haber vivido momentos felices y momentos tristes, gracias por poder haber compartido amor en todo momento y espero poder seguir formando parte de tu historia.

Al final creo que también agradezco a alguien que para mí fue muy especial y le tocó partir cuando estuve en la carrera muchas gracias por todo el tiempo que me diste de amistad felina mi Garfield.

ÍNDICE DE CONTENIDO

HOJA DE NO PLAGIO	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
INDICE DE CONTENIDO	vi
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
Justificación	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Generalidades e Importancia del Fósforo	5
Funciones del Fósforo en las Plantas	6
Absorción y transporte del fósforo	6
Reacciones de energía en la planta	7
Fotosíntesis	7
Transferencia genética	7
Transporte de nutrientes	8
Fertilización Eficiente del Fosforo	8
Dosis	8
Fuente	9
Época	9
Técnica de aplicación	9
Fertirriego	10
Cultivo de Tomate	10
Origen e historia	10

Producción mundial del tomate	10
Producción nacional	10
Botánica y Morfología del Tomate	11
Sistema radicular	12
Tallo	12
Hoja	13
Flor	13
Fruto	13
Clasificación Taxonómica	14
Tipos de Crecimiento del Tomate	14
Plantas de crecimiento determinado	14
Plantas de crecimiento indeterminado	15
Plantas de crecimiento semideterminado	15
Etapas Fenológicas del Tomate	15
Exigencias Edafoclimáticas	16
Temperatura	16
Humedad relativa	16
Luminosidad	17
Suelo	17
Deficiencias Nutrimientales del Cultivo de Tomate	17
Deficiencia de nitrógeno	17
Deficiencia de potasio	18
Deficiencia de magnesio	18
Deficiencia de hierro	18
Deficiencia de zinc	18
Deficiencia de Fosforo en el Tomate	18
Cultivo de Chile	19
Origen e historia del cultivo de chile	19
Producción mundial de chile	20
Producción nacional de chile	21
Botánica y Morfología del Chile	22
Tallo	22

Fruto.....	23
Taxonomía del Chile	23
Exigencias Edafoclimáticas	24
Altitud	24
Fotoperiodo	24
Radiación (luz)	24
Temperatura	24
Precipitación	24
Humedad relativa	25
Profundidad del suelo	25
Textura.....	25
Deficiencias Nutricionales del Chile.....	25
Nitrógeno.....	25
Potasio.....	26
Magnesio	26
Calcio.....	26
Deficiencia de Fosforo en el Chile.....	26
Microorganismos Solubilizadores de Fosfatos.....	28
Hongos solubilizadores de fosfatos.....	29
<i>Aspergillus</i>	29
Morfología de <i>Aspergillus</i>	30
Taxonomía <i>Aspergillus</i>	30
Mecanismo de solubilización de fosfato <i>Aspergillus</i>	31
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
Localización	32
Caracterización de una cepa de <i>Aspergillus niger</i> solubilizadora de fosfato	32
Determinación de la capacidad solubilizadora de fosfato de <i>Aspergillus niger in vitro</i> en medio de cultivo sólido NBRIP	33
Evaluación de la capacidad solubilizadora de fosfato de <i>Aspergillus niger</i> en caldo NBRIP	33
Efecto de fósforo soluble, esporas y micelio de <i>Aspergillus niger</i> en el desarrollo de plantas de tomate y chile.....	34

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
Caracterización morfológica de <i>Aspergillus niger</i>	36
Capacidad solubilizadora de fosfato de <i>Aspergillus niger in vitro</i> en medio de cultivo Agar NBRIP	37
Capacidad solubilizadora de fosfato de <i>Aspergillus niger</i> en caldo NBRIP	40
Curva estándar de fosforo soluble.....	40
Efecto de fósforo soluble, esporas y micelio de <i>Aspergillus niger</i> en el desarrollo de plantas de tomate y chile	42
Cultivo de Tomate.....	42
Cultivo del chile	44
CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración del Ciclo de Fósforo	6
Figura 2. Fórmulas más comerciales de fósforo.....	10
Figura 3. Producción mundial de tomate, en los años 2004- 2014.....	10
Figura 4. Producción de tomate rojo en México.	11
Figura 5. Morfología de la planta de tomate	12
Figura 6. Fenología de la planta de tomate	16
Figura 7. Signos de deficiencia de fosforo en tomate.....	19
Figura 8. Produccion mundial de chile.....	21
Figura 9. Produccion nacional de chile	22
Figura 10. Deficiencia de fosfor en hoja de chile.	27
Figura 11. Deficiencia de fosforo en tallo en cultivo de chile	28
Figura 12. Generos de bacterias y hongos solubilizadores de fosfato	29
Figura 13. <i>Aspergillus</i> visto al microscopio.....	30
Figura 14: Estructuras morfológicas de <i>Aspergillus niger</i> vistas al microscopio compuesto.....	37
Figura 15: Prueba in vitro de solubilización de fosfato por <i>A. niger</i> a las 168 h de incubación en medio de cultivo NBRIP a diferentes pH..	40
Figura 17: Fosfato solubilizado por <i>Aspergillus niger</i> en caldo NBRIP a las 72 h. ...	42
Figura 18: Plántulas de tomates tratadas con los diferentes tratamientos.	58
Figura 19: Plántulas de chile tratadas con los diferentes tratamientos.....	59
Figura 20: Medio de cultivo NBRIP liquido con distintas concentraciones de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ antes y después de la inoculación con <i>Aspergillus niger</i>	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diseño experimental para la evaluación del efecto de fósforo soluble, conidios y micelio de <i>Aspergillus niger</i> en el desarrollo de plantas de tomate y chile.	34
Tabla 2: Solubilización de fosfato en mm de <i>Aspergillus niger</i> a diferentes pH en medio de cultivo Agar NBRID.....	39
Tabla 3: Crecimiento micelial e índice de solubilización de fosforo de <i>Aspergillus niger</i> en medio de cultivo NBRIP a 168h de incubación.....	39
Tabla 4: Evaluación del comportamiento de plántulas de tomate a la aplicación de fosforo soluble, conidios y micelio de <i>Aspergillus niger</i>	44
Tabla 5: Evaluación del comportamiento de plántulas de chile a la aplicación de fosforo soluble, conidios y micelio de <i>Aspergillus niger</i>	45

RESUMEN

La aplicación de fertilizantes químicos en campos agrícolas, repercute en los costos de producción de los cultivos, además, deterioran la calidad del suelo. El fósforo tiene gran demanda en el mercado agrícola, es un elemento que más se pierde como nutriente, debido a que al entrar en contacto con el suelo puede reaccionar con el Ca, Al y Fe y cambiar su disponibilidad a fósforo insoluble. Sin embargo, existen microorganismos con la capacidad de solubilizar los fosfatos insolubles a soluble, entre estos se encuentra la especie *Aspergillus niger*, que en conjunto con otros microorganismos son promotores del crecimiento vegetal. Este hongo sintetiza ácidos orgánicos en la rizosfera de las plantas para solubilizar fosfatos que a su vez se absorben, lo cual favorece el crecimiento y productividad vegetal. Al utilizar los fosfatos presentes en el suelo, se disminuye la aplicación de fertilizantes químicos. Por tal razón, el objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad solubilizadora de fosfato de *A. niger in vitro* y su efecto en plántulas de tomate y de chile. Para esto primero se identificó morfológicamente y molecularmente a *A. niger*, se comprobó su capacidad de solubilizar fosfato en medio de cultivo Agar NBRIP donde demostró un índice de solubilización de 2.25 mm a un pH de 6. En medio líquido se pudo observar que conforme aumentó la concentración de Ca_3PO_4 en el medio NBRIP aumentó la concentración de fósforo soluble generado por *A. niger* observándose una correlación positiva de 0.8729 entre el Ca_3PO_4 y el fósforo soluble producido por este hongo en 72 h de incubación en agitación. Se demostró también que la aplicación de fósforo soluble producto de *A. niger* aplicados en plántulas de tomate y chile, promovieron el crecimiento en altura, número de hojas, diámetro de tallo y redujeron significativamente las deficiencias de fósforo en las plantas bajo estudio.

Palabras claves: *Aspergillus niger*, solubilización de fosfato, promoción de crecimiento vegetal, índice de solubilidad, constante de solubilidad

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios muestran la importancia que ejercen los nutrientes esenciales en las plantas, se conoce que el buen desarrollo depende de la disponibilidad de todos los elementos nutricionales esenciales, entre otros factores. Las funciones de cada uno de los nutrientes esenciales no pueden ser realizadas por ningún otro nutriente y, aunque la mayoría de las plantas requiere de todos ellos, ciertas especies pueden necesitar mayor cantidad de unos que de otros. El fósforo (P) es uno de los principales macronutrientes esenciales requeridos por todos los organismos vivos, pero también es uno de los elementos menos disponibles de la rizosfera. Después del nitrógeno (N), el P es el elemento más limitante para el crecimiento de las plantas (Gebrim *et al.*, 2010). Esto se debe a la baja velocidad de difusión y a la alta velocidad de absorción del fosfato en las plantas, situaciones que rápidamente crean una zona de agotamiento libre de fosfato, alrededor de la raíz (Estrada *et al.*, 2011).

El fósforo puede ser absorbido y asimilado por las plantas en forma de fosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} o PO_4^{3-}); sin embargo, las plantas pueden desprender grupos de fosfatos de los compuestos orgánicos, a través de sus enzimas y, posteriormente, absorberlos (Ticconi *et al.*, 2001).

El fósforo puede ser encontrado con una estructura inorgánica para la planta, que impide su solubilidad o absorción, para lo cual una alternativa es utilizar microorganismos solubilizadores de fosfatos, ya que estas poblaciones microbianas solubilizadores de fosfatos, realizan una actividad importante, debido a que en muchos suelos se encuentran grandes reservas de fósforo insoluble, resultado de las grandes aplicaciones de fertilizantes fosforados y la mayoría de este fósforo no puede ser asimilado por la planta, debido a las reacciones químicas que se llevan a cabo a través de intercambio de cationes con otros elementos, teniendo como resultado estructuras insolubles para el cultivo. Los microorganismos solubilizadores de fosfato usan diferentes mecanismos de solubilización, como son la producción de ácidos orgánicos, que solubilizan dichos fosfatos insolubles en la zona litosférica. Creando

fosfatos solubles que son absorbidos por la planta, lo cual mejorara su crecimiento y productividad (Beltrán, 2014).

El tomate y el chile son unas de las hortalizas más importantes en México ocupando una importante posición en la producción nacional, por lo que un manejo inadecuado en la nutrición de estos cultivos puede disminuir los rendimientos, provocando cambios fisiológicos, morfológicos y bioquímicos que afectan negativamente la tasa fotosintética, la superficie radicular por problemas de adsorción y por consiguiente un escaso crecimiento aéreo de las plantas (Arias *et al.*, 2019). Los nutrientes juegan un papel importante en el aumento de la productividad y calidad en los cultivos modificando el entorno de las plantas (Briat *et al.*, 2015).

Una de las alternativas para contrarrestar las deficiencias de fósforo en las plantas de tomate es aplicar grandes cantidades de fertilizantes fosfatados, pero esto genera elevación de costos, que a su vez no es costearable para los productores, ya que al aplicar cualquier elemento en exceso la planta no es capaz de absorber por completo el elemento químico proporcionado, debido a la saturación y el intercambio de cationes en el suelo este formara estructuras insolubles para la planta (Beltran, 2014). *Aspergillus niger* puede contribuir a incrementar la disponibilidad de fósforo para las plantas principalmente mediante mecanismos tales como la disminución del pH por la producción de ácidos, formación de quelatos y la liberación de enzimas extracelulares. Se ha comprobado que incrementan el crecimiento de las plantas, su productividad y la fertilidad del suelo. Se puede aplicar como biofertilizantes y se consideran una alternativa ecológica y económicamente viable (Hong-Yuan *et al.*, 2015).

Justificación

El uso excesivo de fertilizantes en la agricultura ha generado el deterioro y contaminación de los suelos. En los suelos existen fuentes naturales de fertilizantes los cuales no son asimilables para las plantas, por lo cual se requiere de procesos biológicos para su asimilación. Existen diversos microorganismos con la capacidad de solubilizar fosfatos, entre estos se encuentran algunas especies del género *Aspergillus*, las cuales pueden solubilizar fosfatos mediante la producción de ácidos y fosfatasas, volviendo este elemento disponible para las plantas, lo cual aumenta su crecimiento y desarrollo.

Objetivo general

Evaluar la capacidad solubilizadora de fosfato de *Aspergillus niger in vitro* y su efecto en el desarrollo de plántulas de tomate y de chile.

Objetivos específicos

1. Caracterización e identificación de una cepa de *Aspergillus niger* solubilizadora de fosfato.
2. Determinar la capacidad solubilizadora de fosfato de *Aspergillus niger in vitro* en medio de cultivo NBRIP sólido.
3. Evaluar la capacidad para solubilizar fosfato en *Aspergillus niger* en medio líquido NBRIP.
4. Estimar el efecto del fósforo soluble, esporas y micelio de *Aspergillus niger* en el desarrollo de plantas de tomate y chile.

Hipótesis

La especie *Aspergillus niger* tiene la capacidad de solubilizar fosfato *in vitro* en medio de cultivo NBRIP sólido y líquido. Además, el fosfato soluble producido por *A. niger* al ser aplicado a plántulas de tomate y chile promoverá el crecimiento vegetal de estos cultivos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades e Importancia del Fósforo

El fósforo es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Sultenus y Doyle, 1999), este es un elemento de la tabla periódica que está representado con la letra P, teniendo el 15 como número atómico y con un peso molecular de 30.9738. En todas las formas de vida, el fosforo desempeñan un papel esencial de los procesos de transferencia de energía, como el metabolismo, la fotosíntesis y en la transferencia de energía (Emsley, 2001). Sus funciones no pueden ser remplazadas por ningún otro nutriente, y se requiere aplicaciones de dosis necesarias para que la planta tenga un óptimo crecimiento. El fósforo se clasifica como un nutriente primario o macronutriente, ya que los requerimientos de este elemento químico se miden en kilos por tonelada a comparación de los micronutrientes que estos se miden en gramos por tonelada (Sultenus y Doyle, 1999).

Ciclo del fósforo

El ciclo natural del fósforo es lento en comparación de otros ciclos biogeoquímicos como el ciclo del carbón o el ciclo del nitrógeno. Los compuestos fosfatados se encuentran en las rocas sedimentarias y a medida que estas se meteorizan, se desgastan con el tiempo, el fósforo que contienen estos sedimentos, se filtra lentamente hacia los suelos y aguas superficiales (Cisneros *et al.*, 2016). Las plantas pueden absorber los compuestos fosfatados del suelo y transferirlos a los animales que se las comen, cuando las plantas y los animales excretan desechos o mueren, los fosfatos pueden se absorben por los organismos detritívoros o regresan al suelo. Los compuestos fosfatados también pueden ser transportados, en los escurrimientos hacia los ríos, lagos y océanos, donde se ingieren por organismos acuáticos. Cuando los compuestos fosfatados de los cuerpos o desechos de los organismos marinos se hundan hasta el suelo oceánico forman nuevas capas sedimentarias (Fernández, 2021).



Figura 1. Ilustración del Ciclo de Fósforo (Fernández, 2021)

Funciones del Fósforo en las Plantas

Absorción y transporte del fósforo

El fósforo penetra en la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radicales y de la punta de la raíz. La absorción también se produce por la asociación de microorganismos. El fósforo se absorbe principalmente como ion de orto fosfato primario ($H_2PO_4^-$) pero también puede ser absorbido por la planta como un ion secundario (HP_04^-), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que sube el pH (Fernández, 2007). Una vez dentro de la raíz, el fósforo, puede quedarse almacenado en esta área o puede ser transportado a las partes superiores de la planta a través de varias reacciones químicas, este se puede incorporar a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos (ADN O ARN), fosfoproteínas, fosfolípidos enzimas y compuestos fosfatados (Sultenfus y Doley, 1999).

Reacciones de energía en la planta

El fósforo juega un papel vital en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que son parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADP) y de la adenosina trifosfato (ATP), son la fuente de energía que empuja una multitud de reacciones químicas dentro de la planta (Munera y Meza, 2014). La transferencia de los fosfatos de alta energía del ADP y ATP a otras moléculas (proceso denominado fosforilación), desencadena una gran cantidad de procesos esenciales para la planta (Sultenfus y Doley, 1999).

Fotosíntesis

La fotosíntesis es conocida como la reacción química más importante de las plantas. Esta reacción utiliza energía luminosa, en presencia de clorofila, para transformar el dióxido de carbono y el agua en azúcares simples (Echeverri, 2018). En este proceso, la energía solar es capturada y transformada como ATP e inmediatamente este compuesto está disponible como fuente de energía para muchas otras reacciones dentro de la planta. Por otro lado, los azúcares formados se usan como bloques para construir otras células estructurales y compuestos para almacenamiento (Munera y Meza, 2014).

Transferencia genética

El fósforo es un componente vital de las sustancias que forman los genes y cromosomas. De esta forma, este elemento es parte esencial de los procesos que transfieren el código genético de una generación a la siguiente, obteniendo y mandando energía al mapa genético para todos los aspectos de crecimiento y reproducción de la planta (Corrales, 2014). El adecuado suplemento de fósforo a través de las dosis adecuadas es esencial para el desarrollo de nuevas células y para la transferencia del código genético de una célula a otra, a medida que se desarrollan

nuevas células, la abundante cantidad de fósforo se acumula en semillas y en el fruto donde es esencial para el desarrollo de la semilla y así mandar la información genética de una planta madre que produjo una semilla a una planta hija, que nace de esa semilla (Munera y Meza, 2014).

Transporte de nutrientes

Las células de las plantas pueden acumular nutrientes en concentraciones mayores a las que están presentes en la solución del suelo que les rodea. Esta condición permite que las raíces absorban nutrientes de la solución del suelo donde se encuentran en concentraciones muy bajas (Echeverri, 2018). El movimiento de nutrientes dentro de la planta depende en mucho del transporte a través de las membranas de las células, proceso que requiere de energía para contrarrestar las fuerzas de osmosis (Sultenfus y Doley, 1999).

Fertilización Eficiente del Fosforo

La aplicación de fosforo al suelo debe regirse bajo los principios del buen uso de agroquímicos, ya que hoy en día el uso irracional de agroquímicos, ha provocado desastres y desbalances al medio ambiente, por eso la importancia y responsabilidad de la buena aplicación y manejo de agroquímicos, basándonos en el buen uso de agroquímicos tenemos que la aplicación y aportación del fosforo en el suelo debe de ser por; dosis, fuente, época, técnica de aplicación y fertirrigación (Camacho y Bruulsema, 2017).

Dosis

La dosis del fosforo se debe calcular, a través de un análisis químico del suelo, y la meta de rendimiento de producción del cultivo, ya que tomando en cuenta los datos de

aportación de fósforo que arroja el análisis químico sabremos cuantos kilogramos de fósforo por hectárea tenemos que aplicar para obtener la meta deseada (Camacho y Bruulsema, 2017)

Fuente

La selección de la fuente de fósforo dependerá del fertilizante fosfatado a utilizar, ya que muchas fórmulas que contienen fósforo tienen un catión acompañante, que se utilizará o no, esto depende del resultado del análisis químico del suelo, por eso la importancia de saber que fórmula se aplicará para suministrar fósforo a nuestros cultivos (Santamarina y Povero, 2017).

Época

Por su baja movilidad el fósforo preferentemente debe ser aplicado al momento de la siembra, pero si no se cuenta con el equipo necesario, para incorporarlo al momento se puede incorporar en la pre siembra, hablando de cultivos hortícolas o granos, ya que la aplicación de fósforo en frutales o cultivos de porte medio o alto se debe aplicar en la etapa fenológica adecuada como lo son; en floración o en temporada de lluvias, ya que en ese momento los frutales se encuentran generando nueva raíz y el fósforo es más asimilable (Santamarina y Povero, 2017).

Técnica de aplicación

La aplicación del fósforo o su técnica a considerar debe ser lo más cercano a la raíz ya que es crucial para su absorción ya que el fósforo es un elemento de baja de movilidad, y tiende a aliarse con otros cationes reacciona con ellos y como resultado existe una fijación insoluble para la planta (Camacho y Bruulsema, 2017).

Fertirriego

Es una técnica eficiente para la fertilización fosfatada, ya que el fertilizante es suministrado de forma fraccionada a través de un sistema de riego que garantiza que el nutrimento llegue a la zona radicular del cultivo (Santamarina y Povero, 2017).

Superfosfato de Calcio Triple	00-46-00
Fosfato Monoamónico (MAP)	11-52-00
Fosfato Diamónico (DAP)	18-46-00
Súper Fosfato de Calcio Simple	00-20-00

Figura 2. Fórmulas más comerciales de fósforo (Santamarina y Povero 2017).

Cultivo de Tomate

Origen e historia

Durante muchos siglos, el tomate ha recorrido muchas distancias convirtiéndolo en la fruta más popular en todo el continente americano. Su origen es silvestre en los andes del Perú, posteriormente, se esparció a lo largo de centro y Suramérica, en centro América lo llamaron “xitomalt” en lenguaje náhuatl, fue entonces en México donde fue cosechado, cultivado y mejorado, produciendo la mayor diversidad de frutos (Brouwer *et al.*, 2006).

Producción mundial del tomate

De acuerdo con la información de la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), la superficie cosechada del tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.7 por ciento entre 2004 y 2014, para ubicarse en 5.0 millones de hectáreas, teniendo un rendimiento de 34.0 toneladas por hectárea. El 54.5 % de la superficie cosechada del tomate en 2014 se concentró en 4 países: china (19.8 por ciento), india (18.8 por ciento), Nigeria (10.8 por ciento) y Turquía (6.4 por ciento) siendo estos los países con más producción mundial en tomate (FIRA 2017).

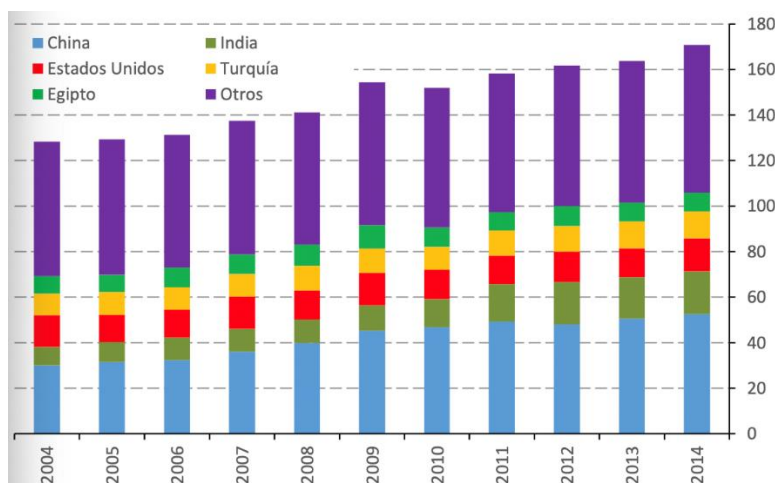


Figura 3. Producción mundial de tomate, en los años 2004- 2014 (FIRA, 2017)

Producción nacional

En México para el ciclo agrícola otoño- invierno 2020/2021 al mes de mayo de 2021, se registra una superficie sembrada de tomate rojo (jitomate) de 23,960 hectáreas, de las cuales se cosecharon 22,333, con una producción de un millón 154 mil 562 toneladas (ton); 20 mil 905 mayor (1.8%) que la obtenida al mismo mes del ciclo previo, el cual reportó un millón 133 mil 656 ton. El líder productor Sinaloa, reporta un volumen de producción 689,487 ton, concentra 59.7% de la producción nacional, le siguen en

importancia; Sonora con un aporte de 6.4%, Michoacán 6.0% y Baja California Sur con 5.8%, en conjunto aportan 77.9% del total nacional. La disminución de las cosechas de las principales entidades exportadoras de tomate rojo (Sinaloa y Sonora) asociadas a la estacionalidad de las siembras, incide en los menores volúmenes que se comercializan con el exterior entre junio y octubre. La mayor parte de las cosechas de las indicadas entidades corresponden al ciclo otoño- invierno. Entre enero y junio de 2021 las exportaciones de jitomate alcanzaron 961 mil toneladas, 50 mil más respecto al mismo semestre del año precedente. Se estimó que para el tercer trimestre del año las exportaciones bajarían a 104 mil toneladas mensuales y repuntaron en el último trimestre para de esta forma alcanzar un acumulado anual próximo a un millón 671 mil toneladas (SIAP, 2021).

Entidad Federativa	2020	2021	Variación		Part. % 2021
			Absoluta	%	
Total	1,133,656	1,154,562	20,905	1.8	100.0
Sinaloa	684,309	689,487	5,178	0.8	59.7
Sonora	72,842	73,376	534	0.7	6.4
Michoacán	48,450	69,719	21,269	43.9	6.0
Baja California Sur	55,969	67,084	11,115	19.9	5.8
Oaxaca	41,722	39,457	-2,264	-5.4	3.4
Morelos	20,253	35,223	14,970	73.9	3.1
Querétaro	42,338	34,488	-7,850	-18.5	3.0
Chiapas	35,312	34,015	-1,297	-3.7	2.9
Veracruz	14,016	20,440	6,423	45.8	1.8
San Luis Potosí	19,471	18,287	-1,185	-6.1	1.6
Guanajuato	26,547	16,779	-9,768	-36.8	1.5
México	5,610	14,209	8,600	153.3	1.2
Guerrero	8,781	10,132	1,352	15.4	0.9
Jalisco	13,554	9,362	-4,192	-30.9	0.8
Colima	5,428	6,053	625	11.5	0.5
Campeche	6,240	6,023	-216	-3.5	0.5
Hidalgo	160	3,140	2,980	1,864.6	0.3
Tamaulipas	3,103	1,901	-1,202	-38.7	0.2
Nayarit	10,062	1,682	-8,380	-83.3	0.1
Puebla	1,193	1,039	-153	-12.9	0.1
Quintana Roo	249	608	359	144.0	0.1
Tabasco	504	601	97	19.2	0.1
Agascalientes	306	470	165	53.9	0.04
Zacatecas	15,357	400	-14,957	-97.4	0.03
Yucatán	271	342	71	26.2	0.03
Baja California	156	243	87	56.2	0.02
Nuevo León	1,369	0	-1,369	-100.0	0.0
Coahuila	85	0	-85	-100.0	0.0

Figura 4. Producción de tomate rojo en México (SIAP, 2021).

Botánica y Morfología del Tomate

Cestoni *et al.*, (2006) describen que el tomate es una planta dicotiledónea, herbácea, perene (cultivada anualmente) perteneciente a la familia Solanácea. En esta familia se

encuentran otras plantas cultivadas como el pimiento, el ají dulce, la berenjena, la papa, el tomatillo, el tabaco y la petunia (Fornaris, 2007).



Figura 5. Morfología de la planta de tomate.

Sistema radicular

Esta construido por la raíz principal y las raíces secundarias y adventicias, estas últimas son numerosas y potentes y no superan los 30 cm de profundidad. Ayuda a la planta a anclarse al suelo o sustrato, absorbe y transporta los nutrientes y agua a la parte superior de la planta (López 2017).

Tallo

Es grueso, pubescente, anguloso y de color verde. Mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. En el tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales, y en la porción distal se ubica el meristemo apical de donde surgen nuevos primordios florales y foliares (Monardes *et al.*, 2009).

Inicialmente el tallo tiene una apariencia herbácea, está compuesto de la epidermis con pelos glandulares, corteza y cilindro vascular y tejido molecular (Escobar y Lee 2009).

Hoja

Es espinada y compuesta. Presenta de siete a nueve folíolos peciolados que miden 4-60 mm x 3-40 mm, lobulados y con borde dentro, alternos, opuestos y, por lo general, de color verde, glanduloso-pubescente por el haz y el ceniciento por el envés. Se encuentra recubierta de pelos glandulares y dispuestos en posición alternada sobre el tallo. La posición de las hojas en el tallo puede ser semi erecta, horizontal o inclinada (Monardes *et al.*, 2009).

Flor

Es perfecta y regular. Los sépalos, los pétalos y los estambres se insertan en la base del ovario. El cáliz y la corola constan de cinco o más sépalos y de cinco pétalos de color amarillo, que se encuentran dispuestos de forma helicoidal. Poseen cinco o seis estambres que se alternan con los pétalos, formando órganos reproductivos (Díaz y Hernández 2003). Es normal que se forme la primer flor en la yema apical, mientras que las demás aparecen en posición lateral y por debajo de la primera, siempre colocándose alrededor del eje principal, siendo el pedicelo el que une la flor al eje frontal (Mondares *et al.*, 2009).

Fruto

Es una baya bilocular o plurilocular, sub esférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 g. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En estado inmaduro es verde y, cuando madura, es rojo (López, 2017). Existen cultivares de tomate con frutos de color amarillo, rosado, morado, naranja y verde, entre otros. El fruto contiene las semillas, que tienen un tamaño promedio de 5 x 4 x 2 mm. Son ovoides, comprimidas, lisas o muy velludas, parduzcas y están embebidas en una abundante masa

mucilaginosa. Cada semilla está compuesta por el embrión, el endospermo y la cubierta seminal (Díaz y Hernández, 2003).

Clasificación Taxonómica

El tomate se encuentra clasificado taxonómicamente de la siguiente manera (Hanan y Mondragon, 2009):

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Subclase Asteridae

Orden Solanales

Familia Solanaceae

Genero Solanum

Especie *lycopersicum*

Tipos de Crecimiento del Tomate

Las variedades de tomate pueden clasificarse en tres grupos por su patrón de crecimiento, las cuales se identifican por el arreglo y frecuencia de hojas e inflorescencias en los tallos, estas son:

Plantas de crecimiento determinado

Son plantas cuyos tallos principales y lateral detienen su crecimiento después de un determinado número de inflorescencias, según la variedad. Son de porte bajo y compacto y producen frutos durante un periodo relativamente corto. Su crecimiento se detiene después de la aparición de varios racimos de flor con la formación de un último

racimo apical. La cosecha puede realizarse de una a tres veces durante el ciclo de cultivo (Escalona *et al.*, 2009)

Plantas de crecimiento indeterminado

Los tallos principal y lateral crecen en un patrón continuo, siendo la yema terminal del tallo la que desarrolla el siguiente tallo. La floración, la fructificación y la cosecha se extienden por periodos muy largos, por lo que son usualmente cultivadas en invernaderos o casas sombra con tutoreo. Poseen condiciones adecuadas para un crecimiento continuo, dado que forman hojas y flores de manera ilimitada. La aparición de flores en los racimos y su grado de desarrollo son escalonados: las primeras flores del racimo pueden estar totalmente abiertas, mientras que las últimas aún no se abren. En Costa Rica son utilizadas en plantaciones a campo abierto para disponer de cosecha durante un periodo de tres a cuatro meses (Escalona *et al.*, 2009)

Plantas de crecimiento semideterminado

Se caracterizan por la interrupción del crecimiento de sus tallos después de un determinado número de inflorescencias, usualmente en una etapa muy avanzada del ciclo del cultivo (Escalona *et al.*, 2009)

Etapas Fenológicas del Tomate

La fenología está determinada por la variedad y las condiciones climatológicas de la zona donde se establece el cultivo. El desarrollo se puede dividir en las siguientes etapas: etapa inicial, etapa vegetativa y etapa reproductiva (Haifa 2014).

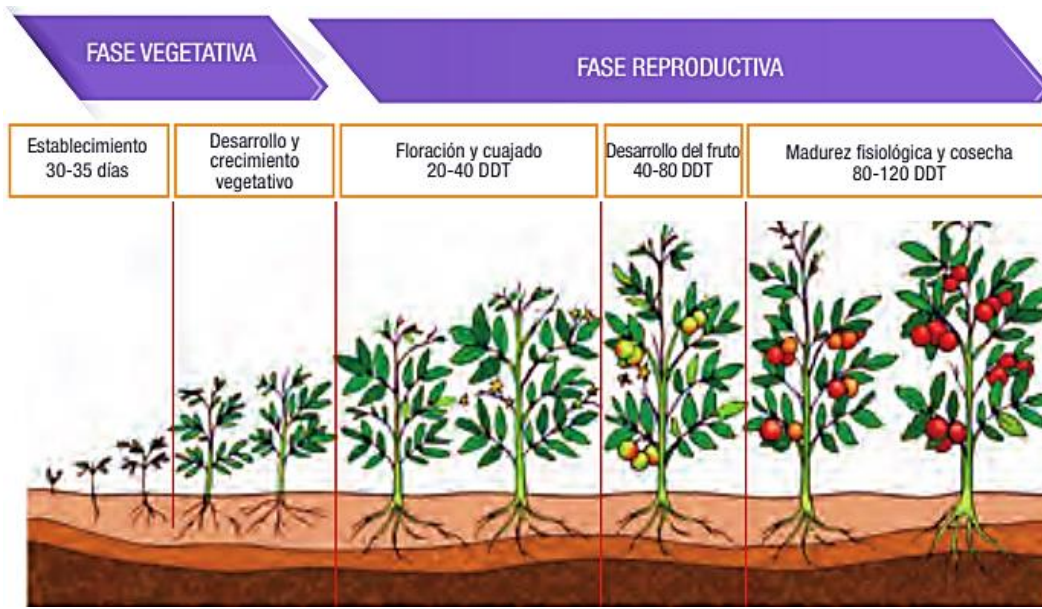


Figura 6. Fenología de la planta de tomate (Cámara de Comercio de Bogotá 2015)

Exigencias Edafoclimáticas

Temperatura

La temperatura óptima de desarrollo del cultivo oscila entre 20 °C y 30 °C durante el día y entre 10 °C y 17 °C durante la noche. Temperaturas superiores a los 30 °C reducen la fructificación y la fecundación de los óvulos, afectan el desarrollo de los frutos y disminuyen el crecimiento y la biomasa de la planta. Las plantas de tomate se desarrollan mejor con temperaturas de entre 18 °C y 24 °C. Temperaturas diurnas inferiores a 12-15 °C pueden originar problemas en el desarrollo de la planta, mientras que temperaturas diurnas superiores a 30 °C e inferiores a 12 °C afectan la fecundación (Díaz, 2007).

Humedad relativa

La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto,

también se dificulta la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores (Díaz, 2007). El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor. La humedad dentro de un invernadero por lo general es mayor (hasta un 20%), por ello es importante abrir ventanas durante el día (Morales, 2018).

Luminosidad

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración y fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura, diurna y nocturna, y la luminosidad. A mayor intensidad lumínica mayor crecimiento (Morales, 2018).

Suelo

Se recomienda suelos sueltos de textura franco-arcillosa, ricos en materia orgánica y con buen drenaje. El pH del suelo deberá ser entre 5.8 y 6.8 ya que esto garantiza la máxima disponibilidad de nutrientes. Exceso de humedad del suelo puede provocar follaje amarillo, aborto de flores y frutos abatiendo el rendimiento, sin olvidar que hay mayor susceptibilidad de enfermedades del suelo (Ruiz *et al.*, 2008).

Deficiencias Nutrimientales del Cultivo de Tomate

Deficiencia de nitrógeno

Las plantas muestran un pobre desarrollo, se achaparran y en las hojas viejas se presenta clorosis, seguido por una necrosis. En algunos casos se puede presentar una floración prematura; las plantas con esta deficiencia lucen amarillentas o con un tono

verde más claro comparado con una hoja sana ya que esta tiene un color verde más obscuro (Snyder, 1991).

Deficiencia de potasio

Los bordes de las hojas pueden secarse, además las hojas se muestran cloróticas con venas verdes, provoca muchos desordenes en el desarrollo de los frutos de tomate, por tanto, es muy importante siempre mantener buenos niveles de este nutriente (Hosier, 1999).

Deficiencia de magnesio

Se presenta clorosis en forma de marmoleo, comenzando por hojas viejas y terminando con las hojas nuevas. Se puede dar clorosis, pero las venas por lo regularmente permanecen de color verde (Hosier, 1999).

Deficiencia de hierro

Hojas cloróticas, pero se presentan en las hojas de brotes nuevos. Adoptan un cierto moteado, pero puede mostrarse como un amarillamiento uniforme (Snyder, 1991).

Deficiencia de zinc

Los síntomas son casi idénticos como la deficiencia de hierro, pero en cambio la deficiencia de zinc tiene particularidades como la reducción en el tamaño de las hojas nuevas, y que estas en ocasiones crecen de forma retorcida o curvada (Weir, 1984).

Deficiencia de Fosforo en el Tomate

La deficiencia de fósforo presenta un típico síntoma de manchas necróticas en las hojas, los síntomas de deficiencia del fósforo no se distinguen, por ello se dificulta su identificación, uno de los síntomas visuales es que la planta queda enana, ya que la deficiencia de fósforo provoca un desarrollo más lento en las plantas en relación a otras bajo las mismas condiciones pero con un buen suministro de este nutriente, la deficiencia de fósforo también puede confundirse con plantas mucho más jóvenes (Hossier, 1999). También se puede observar algunos síntomas como desarrollo de color púrpura en el tallo o en el envés de las hojas. Bajo condiciones severas la deficiencia hay una tendencia de las hojas a tornarse grises – azul brillante. Y con deficiencia muy severa las hojas viejas pueden desarrollar un moteado marrón marcado (Snyder, 1991).



Figura 7. Signos de deficiencia de fósforo en tomate (Haifa, 2014).

Cultivo de Chile

Origen e historia del cultivo de Chile

El chile es conocido científicamente como "*Capsicum*", dicha palabra proviene del griego "kapsakes" que significa cápsula, y su nombre común chili que proviene del náhuatl. Este cultivo ha sido de gran valor milenario entre las culturas mesoamericanas y es posible que el aprovechamiento de los distintos tipos de chile se remonte a las épocas en que los grupos que habitaban el territorio nacional tenían un modo de subsistencia basado en la caza-recolección. La mayoría de las especies silvestres de chile se localizan en América del Sur donde se cree que es originario este género de plantas. Algunos botánicos opinan que el lugar de origen del chile se encuentra en la zona andina, mientras otros especulan que se originó en el sudeste del Brasil, por la gran diversidad de especies del género *Capsicum* que existen en estas dos regiones. Es probable que la planta haya sido dispersada a otras regiones por los pájaros que, atraídos por los frutos rojos, comen hasta los chiles más picantes para después arrojar las semillas en otra parte junto con el excremento, así se explica cómo el chile habría llegado a Mesoamérica, como planta silvestre, hace miles de años. El chile fue primordial para los antiguos mexicanos. En las ciudades de Teotihuacán, Tula y Monte Albán, por ejemplo, se han encontrado vestigios de un amplio consumo de chile entre sus pobladores. Y los Aztecas habían desarrollado una cultura del chile, muchos aspectos de ellos perduran hasta nuestros días. Actualmente la cocina del chile es estrictamente hablando, nacional. Es lo que nos define frente a otras dietas y cocinas del mundo, llegado a ser casi un símbolo patrio para México (SADER, 2015).

Producción mundial de chile

A nivel mundial el chile es una de las principales hortalizas cultivadas, con una producción de 36 771 482 toneladas, creciendo un 2.17% con respecto al 2017. La superficie cosechada del cultivo también tuvo un incremento de 1.4% en el mismo periodo. Este aumento está acorde a la tendencia que se tiene desde hace 11 años con el cultivo. De igual manera, el rendimiento promedio mundial pasó de 15.5 ton/ha en 2008 a 18.5 ton/ha en 2018 (FAOSTAT 2020).

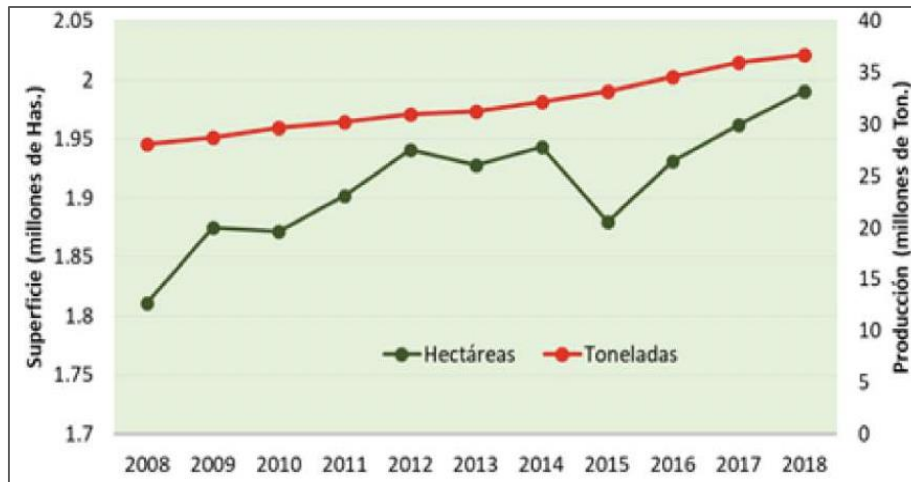


Figura 8. Producción mundial de chile (FAOSTAT 2020)

Producción nacional de chile

El chile junto con el tomate son las hortalizas de mayor importancia económica en México. El chile aporta el 20.2% en la producción de hortalizas a nivel nacional. El SIAP (2021) reporta una producción nacional de 3 086 742.28 toneladas de chile en el año 2021. En los últimos 15 años la superficie destinada al cultivo de chile ha oscilado en un rango de 40 mil hectáreas, manteniéndose en un promedio de 147 mil hectáreas anuales del cultivo en el país; sin embargo, la producción ha aumentado en poco más de un millón de toneladas para este mismo periodo (Figura 9). Una de las razones para este incremento está relacionada con el aumento del rendimiento promedio por hectárea, que paso de 13.86 ton/ha en 2005 a 21.65 ton/ha en 2019 (SIAP, 2020).

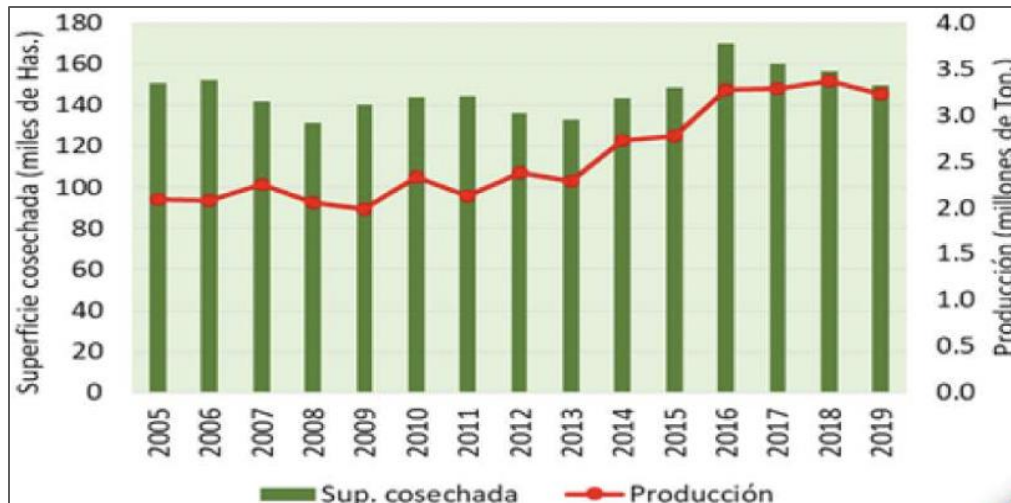


Figura 9. Producción nacional de Chile (SIAP, 2020)

Botánica y Morfología del Chile

La planta es un semi arbusto de forma variable y alcanza entre 0.60 metros (m) a 1.50 m de altura, dependiendo principalmente de las condiciones climáticas y del manejo. La planta de Chile es monoica, tiene los dos sexos incorporados en una misma planta, y es autógama, es decir que se auto fecunda; aunque puede experimentar hasta un 45% de polinización cruzada, es decir, ser fecundada con el polen de una planta vecina. Por esta misma razón se recomienda sembrar semilla híbrida certificada cada año. La semilla se encuentra adherida a la planta en el centro del fruto. Es de color blanco crema, de forma aplanada, lisa, reniforme, cuyo diámetro alcanza entre 2.5 y 3.5 milímetros (mm) (P&C Maderas, 2013).

Tallo

El tallo puede tener forma cilíndrica o prismática angular, glabro, erecto y con altura variable, según la variedad. Esta planta posee ramas dicotómicas o pseudo dicotómicas, siempre una más gruesa que la otra (la zona de unión de las

ramificaciones provoca que éstas se rompan con facilidad). Este tipo de ramificación hace que la planta tenga forma umbelífera (P&C Maderas 2013).

Fruto

El fruto es una baya, con dos a cuatro lóbulos, con una cavidad entre la placenta y la pared del fruto, siendo la parte aprovechable de la planta. Tiene forma globosa, rectangular, cónica o redonda. Existe una diversidad de formas y tamaños en los frutos, pero generalmente se agrupan en alargados, redondos y tamaño variable, su color es verde al principio y luego cambia con la madurez a rojo o púrpura en algunas variedades. La constitución anatómica del fruto está representada básicamente por el pericarpio y la semilla. En casos de polinización insuficiente se obtienen frutos deformes (P&C Maderas 2013).

Taxonomía del Chile

La planta del cultivo de Chile se ubica taxonómicamente de la siguiente manera (P&C Maderas 2013):

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Capsicum
Especie	<i>Capsicum annuum</i> L.

Exigencias Edafoclimáticas

Altitud

Este cultivo para obtener un buen y mejor desarrollo, debe sembrarse a partir del nivel del mar hasta los 2000m de altura (Jaramillo *et al.*, 2010).

Fotoperiodo

Responde a días cortos y días neutros, es decir menos de 12 hasta 14 horas de luz (FAO, 2000).

Radiación (luz)

Es una planta que requiere de gran luminosidad (Japón, 1980).

Temperatura

La temperatura optima de 24 C y con al menos 3 meses de clima cálido para el buen desarrollo de los cultivos (Jaramillo *et al.*, 2010).

Precipitación

El cultivo de chile requiere riegos constantes o aportación de agua por grandes cantidades, lo cual ocupa de 600 a 1250mm de precipitación por año (Jaramillo *et al.*, 2010).

Humedad relativa

Le favorece la humedad relativa en un rango de 55 a 90% (CCI 2006).

Profundidad del suelo

Requiere de suelos que cuenten con una profundidad de 50 a 150 cm (FAO 2000).

Textura

Los suelos en los que este cultivo tiene un mayor rendimiento son los suelos franco-arcilloso y franco-arenoso (CCI, 2006).

Deficiencias Nutricionales del Chile

Nutrientes esenciales podrían ser definidos como lo que sin ellos las plantas no pueden completar su ciclo de vida, insustituibles por otros elementos, y están involucrados directamente en el metabolismo de las plantas (Fageria *et al.*, 2002; Rice, 2007). Epstein y Bloom (2005) citan dos criterios de esencialidad de un nutriente. Estos criterios son: 1) el nutriente es parte de una molécula que es un componente intrínseco de la estructura o metabolismo de la planta y 2) las plantas muestran anomalía en su crecimiento y desarrollo cuando el nutriente en cuestión es omitido de un medio de crecimiento comparado con una planta que no está privada del nutriente.

Nitrógeno

El síntoma inicial de la deficiencia de nitrógeno, que fue caracterizado por la pérdida o disminución de la tonalidad verde de la planta como un todo hojas y tallos (Silva *et al.*, 2017).

Potasio

Inicialmente las plantas deficientes de potasio se observa la presencia de una clorosis marginal en las hojas localizadas a la altura del tercio superior, es decir en las hojas más nuevas (Silva *et al.*, 2017).

Magnesio

Los primeros signos de deficiencia de magnesio empiezan con una clorosis intervenal en las hojas situadas en el tercio medio de las plantas creciendo en intensidad y exponiéndose hacia las hojas del tercio superior. El síntoma de clorosis se debe a la disminución de la clorofila, lo cual puede a ver causado la rápida destrucción del cloroplasto (Bondada y Syvertsen, 2003).

Calcio

El síntoma inicial de la deficiencia de calcio se observa principalmente en frutos en crecimiento, es conocido como pudrición estilar, pudrición apical esta se ve presentada con la aparición de una mancha en la superficie del fruto en la región opuesta a la inserción del pedúnculo (Silva *et al.*, 2017).

Deficiencia de Fosforo en el Chile

Tiene una amplia influencia sobre el ecosistema natural y agrícola que cualquier otro elemento en la planta (Brady y Weil, 2002). El fosforo es un elemento esencial para

las plantas, su característica principal es su lenta movilidad en el suelo. La acción de este elemento está influenciada por la temperatura, intensidad de luz, aireación en el suelo, humedad en el suelo, pH del suelo, arquitectura de la raíz, tasa de respiración y transpiración, edad de la planta, tasa de crecimiento, especie y concentración interna del elemento en las plantas. Generalmente, el fósforo tiene interacción positiva con N, K y Mg, la deficiencia de Zn está asociada con el rápido crecimiento de las plantas, y el Zn disponible no puede satisfacer la demanda por el rápido crecimiento de las plantas, el zinc induce toxicidad en fósforo (Loneragan y Webb, 1993).

Los síntomas por deficiencia de fósforo puede causar, especialmente a lo largo de las nervuras de las hojas, la visualización de pigmentos rojos, violáceos y marrones, debido a la acumulación de antocianina en las vacuolas, presentándose primero estos síntomas en las hojas más viejas (Epstein y Bloom 2006).



Figura 10. Deficiencia de fosfor en hoja de chile (Silvia *et al.*, 2017).



Figura 11. Deficiencia de fósforo en tallo en cultivo de chile (Silvia *et al.*, 2017).

Microorganismos Solubilizadores de Fosfatos

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 PGPM por sus siglas en inglés (Plant growth promoting microorganisms) (Rosas *et al.*, 2006). Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF) constituyen un grupo importante de PGPM, pues están involucrados en un amplio rango de procesos que afectan la transformación del fósforo siendo componentes integrales del ciclo edáfico de este nutriente (Fankem *et al.*, 2006).

El papel de los microorganismos solubilizadores de fosfatos en la solubilización de fósforo inorgánico se conoció en 1903 (Kucey, 1983) y desde entonces han sido extensivos los estudios. La solubilización natural de fosfatos es un fenotipo natural que exhiben muchos microorganismos del suelo. Los MSF se encuentran en todos los suelos y su número varía de uno a otro; en la rizosfera se ha encontrado una concentración más alta y eficaz de MSF en comparación con los encontrados en el suelo no rizosférico. En general, parece existir un efecto rizosférico sobre dichos organismos, debido a que los exudados radicales y detritus vegetales proporcionan el

sustrato energético para que sea posible la actividad microbiológica solubilizadora de fosfato. En esta zona de interacción se encuentran cepas aeróbicas y anaeróbicas, con prevalencia de cepas aeróbicas (Beltrán 2014).

Géneros de bacterias solubilizadoras de fosfato (BSF)			Géneros de hongos solubilizadores de fosfato (HSF)
<i>Achromobacter</i>	<i>Erwinia</i>	<i>Rahnella</i>	<i>Aspergillus</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Ralstonia</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Aereobacter</i>	<i>Gordonia</i>	<i>Rhodobacter</i>	<i>Mucor</i>
<i>Agrobacterium</i>	<i>Kitasatospora</i>	<i>Rhodococcus</i>	<i>Paecilomyces</i>
<i>Arthrobacter</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Serratia</i>	<i>Penicillium</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Mesorhizobium</i>	<i>Sinorhizobium</i>	<i>Rhizopus</i>
<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Micrococcus</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Sclerotium</i>
<i>Burkholderia</i>	<i>Mycobacterium</i>	<i>Streptosporangium</i>	<i>Syrialidium</i>
<i>Chryseobacterium</i>	<i>Pantoea</i>	<i>Thiobacillus</i>	<i>Talaromyces</i>
<i>Delftia</i>	<i>Phyllobacterium</i>	<i>Yarrowia</i>	<i>Trichocladium</i>
<i>Enterobacter</i>	<i>Pseudomonas</i>		

Figura 12. Géneros de bacterias y hongos solubilizadores de fosfato (Beltran, 2014).

Hongos solubilizadores de fosfatos

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

Aspergillus

Morfología de *Aspergillus*

De acuerdo con INSST (2021) *Aspergillus* spp., es un hongo filamentoso hialino, saprofita, perteneciente al filo Ascomycota. Se encuentra formado por hifas hialinas septadas y puede tener reproducción sexual (con formación de ascosporas en el interior de ascas) y asexual (con formación de conidios).

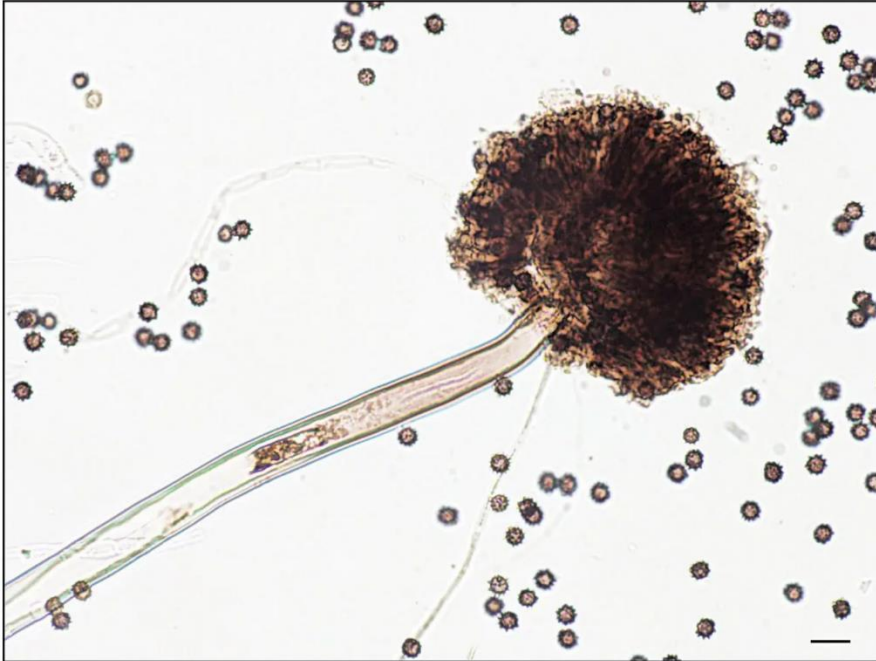


Figura 13. *Aspergillus* visto al microscopio (INSST 2021).

Taxonomía *Aspergillus*

Taxonomía de *Aspergillus niger* (Samson y Pitt, 1990)

Dominio: Eukariota

Reino: Fungi

Division: Ascomycota

Clase: Eurotiomycetes

Orden: Eurotiales

Familia: Trichocomaceae

Género: *Aspergillus*

Especie: *A. niger*

Mecanismo de solubilización de fosfato *Aspergillus*

Los microorganismos asociados con las raíces de las plantas tienen la habilidad de incrementar el crecimiento de estas, entre los ellos, *Aspergillus niger*, es un microorganismo solubilizador de fosfato el cual permite a las plantas tener un mayor aprovechamiento y absorción de este elemento, para incrementar y mejorar el desarrollo de la planta (Pérez *et al.*, 2007)

El principal mecanismo de solubilización utilizado por la mayoría de los microorganismos es la disminución del pH dentro de la rizosfera (Lara *et al.*, 2011). Este fenómeno se lleva a través de la liberación de ácidos orgánicos, cuyas propiedades quelatantes favorecen a la formación de complejos solubles que después liberaran lentamente el fosfato y este pueda ser absorbido por la planta (Fernández *et al.*, 2005)

Otro mecanismo utilizado es la producción de enzimas fosfatasas, estas encimas son creadas por los microorganismos a través de la estimulación por condiciones específicas como la disponibilidad de materia orgánica, humus, estiércol y residuos vegetales. Estas encimas se hidrolizan y deja disponible el fosforo para la planta (Corrales, 2014).

Hoy en día el mejoramiento genético y técnicas en la biología molecular para obtener y caracterizar cepas de *A. Níger* son una herramienta potencial para obtener un mayor potencial solublizador, esto con el fin de introducir genes sobre expresados a otros microorganismos que no tienen capacidades de solubilización (Beltran, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología e invernaderos del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 22" LN y 101° 02" LO; 1742 msnm).

Caracterización de una cepa de *Aspergillus niger* solubilizadora de fosfato

Se utilizó una cepa de *Aspergillus niger* con capacidad de solubilizar fosfato en medio de cultivo NBRIP (National Botanical Research Institute Phosphate growth médium) descrito por Nautiyal en el año de 1999 y citado por Beltrán- Pineda (2014), con modificaciones el cual contiene; $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (5g), $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (5g), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,25g), KCl (0,2g), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (0,15g), Dextrosa (10g), Agar (18g), medio específico para el aislamiento de microorganismos solubilizadoras de fosfatos. La cepa del hongo fue proporcionada por el laboratorio de Microbiología, la cual fue aislada de la rizosfera de zacaton, e identificada morfológicamente en base a sus estructuras mediante observaciones al microscópio compuesto, además, la confirmación de la especie se realizó por secuenciación de las regiones internas transcritas ITS1 e ITS4 del DNAr amplificados por rtPCR (O'Donnell, *et al.*, 1998), en LANBAMA del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT).

A. niger fue purificado mediante la técnica de punta de hifa en caja Petri con el mismo medio de cultivo mencionado anteriormente e incubada a una temperatura de 28°C para su posterior utilización.

Determinación de la capacidad solubilizadora de fosfato de *Aspergillus niger* in vitro en medio de cultivo solido NBRIP

Esta prueba se realizó en cajas Petri con medio de cultivo NBRIP a distintos rangos de pH (4, 5, 6 y 7), siendo cada rango de pH igual a un tratamiento, una vez solidificado el medio de cultivo se sembró en el centro de las cajas Petri un explante de 5 mm de diámetro de medio de cultivo con crecimiento micelial de *A. niger* de 48 h de crecimiento. Las cajas Petri se incubaron a 28 °C con fotoperiodo de 12:12 luz/oscuridad. La solubilización de fosforo se realizó al medir el halo de hidrolisis que se desarrolló al crecer el hongo sobre el medio de cultivo y se midió en mm, esto cada 24 h hasta que el primer tratamiento llenara la caja Petri, las mediciones se realizaron con la ayuda de un Vernier digital. Se realizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (distintos rangos de pH) con tres repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA), bajo un arreglo completamente al azar en el programa estadístico SAS versión 9.4. Las medias de los valores de eficiencia de solubilización de fosfato se compararon y estratificaron según la prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$). Al final del experimento (168 h) se determinó el índice de solubilización (IS) de cada tratamiento, con la siguiente formula: $IS = \text{Diámetro del microorganismo} + \text{halo de solubilización} / \text{diámetro del microorganismo}$ (Acosta-Suárez *et al.*, 2019).

Evaluación de la capacidad solubilizadora de fosfato de *Aspergillus niger* en caldo NBRIP

Para determinar la solubilización fosfato en el medio NBRIP líquido, se prepararon matraces Erlenmeyer bafleados de 2000 ml, cada uno con 700 ml de medio de cultivo, con siguientes proporciones de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (T1= 1.0 g/L, T2= 2.0 g/L, T3= 3.5 y T4= 5.0 g/L), los cuales una vez esterilizados los matraces se inocularon con una porción de 5 mm de diámetro de medio de cultivo con crecimiento micelial de *A. niger* de tres días de crecimiento. Los matraces se mantuvieron en agitación constante a 150 rpm durante 72 h a 30°C y un fotoperiodo de 12:12 de luz: oscuridad. Se realizó un diseño

completamente al azar con cuatro tratamientos (distintas concentraciones de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). La determinación de fósforo se realizó utilizando el kit H1706 colorimétrico de phosphorus high range de Hanna Instruments, para ello se usó una muestra de 10 ml de cada tratamiento para realizar la reacción colorimétrica y efectuar la medición de absorción en un Spectrofotometro Thermo Spectronic para medir la solubilización de fósforo generado por *A. niger* en cultivo.

Efecto de fósforo soluble, esporas y micelio de *Aspergillus niger* en el desarrollo de plantas de tomate y chile

Se germinaron semillas de tomate de crecimiento determinado variedad Floradade y semillas de chile híbrido Platino, las cuales se sembraron en charolas de unicel de 200 cavidades con sustrato peat- most y perlita en relación 3:1. A los 18 días después de la germinación se seleccionaron 16 plántulas (tomate y chile) con una altura de 5 cm, las cuales fueron trasplantas en una charola de unicel de 60 cavidades que contenían una mezcla con sustrato peat- most y tierra en relación 1:3, para posteriormente, llevar acabo el experimento de solubilizadoras de fosfatos. Se estableció un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y un testigo (T1= Fosforo soluble (obtenido de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ mediante la solubilización con *A. niger*), T2= Esporas de *A. niger* (2^7 conioc x ml), T3= Micelio de *A. niger* y T4= Testigo (Agua)) con cuatro repeticiones por tratamiento, para un total de 16 unidades experimentales (Tabla 1), tanto para plantas de tomate y chile de manera individual.

Tabla 1: Diseño experimental la para evaluación del efecto de fósforo soluble, conidios y micelio de *Aspergillus niger* en el desarrollo de plantas de tomate y chile.

T2	T1	T4	T3
T1	T2	T3	T4
T4	T3	T2	T1
T3	T4	T1	T2

Los tratamientos se aplicaron a los 10 días después del trasplante (ddt), posteriormente, se repitió la aplicación de los tratamientos a los 20 y 30 ddt. A los 40 ddt se evaluaron diferentes parámetros agronómicos (altura de la planta, ancho del tallo, N° de hojas y N° de hojas con deficiencia de P), los datos obtenidos se sometieron a un ANVA y una prueba de comparación de medias de Tukey, ($P=0.05$) en el programa estadístico InfoStat versión 2019.1.2.0., bajo un diseño por bloques completamente al azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica de *Aspergillus niger*

Este hongo presenta un rápido crecimiento micelial, de coloración amarillo al inicio (Fig. 12 A), que posteriormente se torna de color negro (Fig. 12 B), hifas septadas ramificadas de coloración hialina a cafés y más delgadas que los conidioforos (Fig. 12 C), estos fueron lisos y largos de 400 a 900 μm con paredes gruesas (Fig. 12 D), vesículas globosas de 28 a 50 μm (Fig. 12 E) donde se insertan las metulas y fialides (Fig. 12 F), metulas 13 μm de largo (Fig. 12 Ga) y fialides en doble serie de 10 μm de largo (Fig. 12 Gb), donde se insertan los conidios globosos y lisos en cadenas (Fig. 12 H), los conidios son de color café oscuro de un diámetro 2.5 a 3.5 (Fig. 12 I). Dichas características concuerdan con las descritas para la especie *A. niger* descritas por Gautam y Bhaduria, (2012) quienes describen a esta misma especie como una especie de rápido crecimiento de coloración negro, hifas septadas ramificadas, conidioforos de 200 a 400 μm de largo por 7 a 10 μm de ancho, vesícula globosa, metulas y fialides en doble serie y conidios de 2.5 a 4 μm . Por su parte, Araujo-Blanco *et al.*, (2016) reportan a esta especie con las mismas características, pero variando en las dimensiones de sus estructuras como, por ejemplo; reportan conidioforos de 400 a 2500 μm , vesícula de 30 a 75 μm , metula de 12 a 20 μm de largo por 3 a 6 μm de ancho, fialides de 7 a 10 de largo por 3 a 4 de ancho y conidios de 3 a 5.5 μm , siendo similares a las encontradas en esta investigación. La secuenciación molecular mostró un 99.30 % de similitud con la especie *A. niger* con número de acceso al genbank MT152319.1., utilizando el método de reacción en cadena de polimerasa (PCR) de las regiones espaciadoras internas transcritas ITS1 e ITS4 del ADNr 18S.

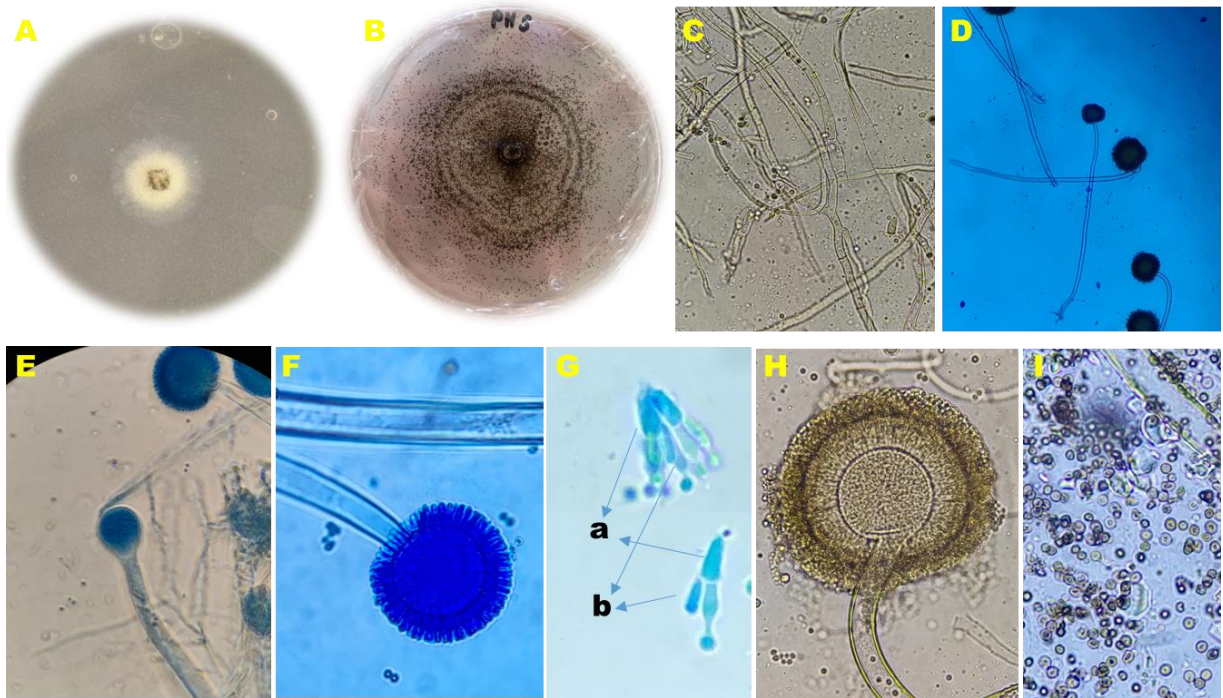


Figura 14: Estructuras morfológicas de *Aspergillus niger* vistas al microscopio compuesto (imágenes de color azul vistas con filtro e imágenes de color café vistas sin filtro). A) Crecimiento micelial de coloración amarilla de 48 h de crecimiento. B) Crecimiento micelial de coloración negro de 168 h de crecimiento. C) Micelio septado. D) Conidióforos largos. E) Vesícula. F) Vesícula rodeada de metulas y fialides. G) a- Metulas y b- fialides. H) Vesícula con metula, fialides y esporas. I) Esporas de color café oscuro.

Capacidad solubilizadora de fosfato de *Aspergillus niger* *in vitro* en medio de cultivo Agar NBRIP

El comportamiento de *Aspergillus niger* al crecer en el medio de cultivo NBRIP a diferentes pH se observa a través de la presencia de un halo traslucido alrededor de las colonias (Fig. 2 A- D) lo que indicó cualitativamente la solubilización de fosfato, este halo se pudo observar desde las primeras 24 h de incubación y se incrementó con el transcurso del tiempo incubación. Cabe destacar que varias especies de *Aspergillus*

se han reportado con resultados positivos en ensayos *in vitro*, entre las que destaca la especie *A. niger* (Li *et al.*, 2015), al igual que en este trabajo experimental.

Los resultados obtenidos en este experimento se pueden observar en la tabla número 2, donde se puede observar que la solubilización está relacionada con el desarrollo del hongo, dado que acorde el tiempo se obtuvo un mayor desarrollo de *A. niger* y con este un aumento del halo de solubilización, esto en cada uno de los tratamientos (representado con las literales mayúsculas). También se puede apreciar en la tabla 2 (literales minúsculas) que los 4 tratamientos a las primeras 48 h mostraron diferencias significativas, siendo T3 el que mostró la mayor solubilización de fosfatos (12.43 mm) ya que presentó un mayor diámetro de halo de solubilización. A partir de las 120 h en adelante estadísticamente todos los tratamientos fueron significativamente iguales. De igual manera, esta tendencia siguió hasta las 168 h, cabe mencionar, que numéricamente el tratamiento con mayor crecimiento de halo de solubilización fue T3 (Fig. 15 C) con un crecimiento de 66.56 mm (Tab. 2) y un IS de 2.25 mm (Tab. 3), seguido de T4 con un diámetro de 65.48 mm (Tab.2) y un IS de 2.24 mm (Tab. 3 y Fig. 15 D), en tercer lugar, se situó T1 con un diámetro de 61.78 mm (Tab. 2) y un IS de 2.09 mm (Tab. 3 y Fig. 15 A) y por último T2 con un diámetro de 60.87 mm (Tab. 2) y un IS de 2.08 mm (Tab. 3 y Fig. 15 B), estos resultados son similares a los reportados por Beltrán (2014) quien reporta un crecimiento de 15 mm de diámetro y un halo de solubilización (IS) de 4.3 mm con una cepa de *A. niger*, en un periodo de incubación de 14 días, a diferencia de nuestro estudio que se logró un IS de 2.25 (Tab. 3) en tan solo 7 días, además, nuestra cepa de *A. niger* mostró un mayor crecimiento que la reportada por este autor. Cabe mencionar que el tamaño del microorganismo y el tamaño del halo de solubilización está relacionado con la eficacia de solubilización de fosfato en diferentes grados, lo cual es de suma importancia ya que esto nos indica que es un hongo con una alta eficacia de solubilización de fosfato ya que utiliza para su desarrollo menos fosfato del que solubiliza, dejando la mayor parte disponible para el cultivo (Beltrán, 2014).

Tabla 2: Solubilización de fosforo en mm por *Aspergillus niger* a diferentes pH en medio de cultivo Agar NBRID.

Horas	Tratamientos													
	T1			T2			T3			T4			P>F	C.V
24	5.73	ab	G	5.70	b	G	5.75	ab	E	7.77	a	E	0.01	6.19
48	11.39	ab	F	10.93	ab	F	12.43	a	E	9.83	b	E	0.01	6.08
72	18.76	b	E	18.92	ab	E	22.32	a	D	18.88	a	D	0.03	6.19
96	31.62	cb	D	29.88	c	D	38.77	a	C	32.33	b	C	0.001	2.37
120	43.79	a	C	45.04	a	C	47.38	a	CB	49.88	a	B	0.07	5.16
144	49.42	a	B	52.40	a	B	52.90	a	B	54.04	a	B	0.06	3.24
168	61.78	a	A	60.87	a	A	66.56	a	A	65.48	a	A	0.46	7.66
Pr>F	0.001			0.001			0.001			0.001				
C.V.	3.19			4.22			9.25			4.54				

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Tabla 3: Crecimiento micelial e índice de solubilización de fosforo de *Aspergillus niger* en medio de cultivo NBRIP a 168h de incubación.

Tratamientos	Crecimiento micelial	Indice de solubilidad (IS)
T1	56.46 mm	2.09 mm
T2	56.04 mm	2.08 mm
T3	53.01 mm	2.25 mm
T4	52.78 mm	2.24 mm

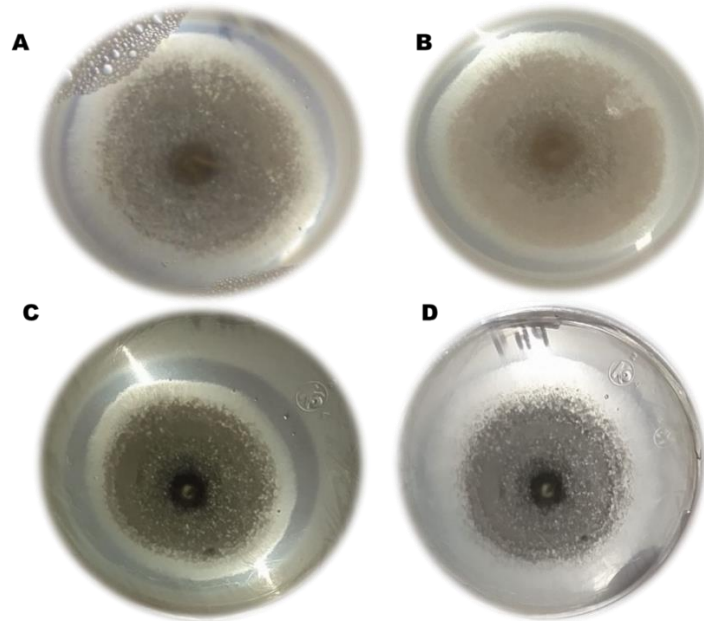


Figura 15: Prueba *in vitro* de solubilización de fosfato por *A. niger* a las 168 h de incubación en medio de cultivo NBRIP a diferentes pH. A) T1, NBRIP a pH 4, B) T2, NBRIP a pH 5, C) T3, NBRIP a pH 6 y D) T4, NBRIP a pH 7.

Cabe destacar que, aunque los tratamientos T1 y T2 mostraron un mayor crecimiento micelial de 56.46 mm y 56.04 mm respectivamente (Tab. 3) siendo estos mayores a los crecimientos de T3 y T4, estos dos últimos tratamientos mostraron los mayores IS, siendo de 53.01 mm y 52.78 mm respectivamente (Tab. 3).

Capacidad solubilizadora de fosfato de *Aspergillus niger* en caldo NBRIP

Curva estándar de fosforo soluble

Para cuantificar colorimétricamente la cantidad de fosforo soluble generado por *A. niger* al crecer en el medio cultivo de NBRID con $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, se trazó inicialmente una curva estándar espectrofotométrica de fosforo soluble usando K_2HPO_4 a diferentes concentraciones de fosforo, la cual se muestra en la gráfica figura 16. Como se observa en la determinación colorimétrica de fosforo existe proporcionalidad en su

determinación dado que se obtiene un coeficiente de correlación superior al 0.92, el cual indica una buena correlación entre la concentración de fosforo en solución y el color que desarrolla al medirlo espectrofotométricamente a 880 nm.

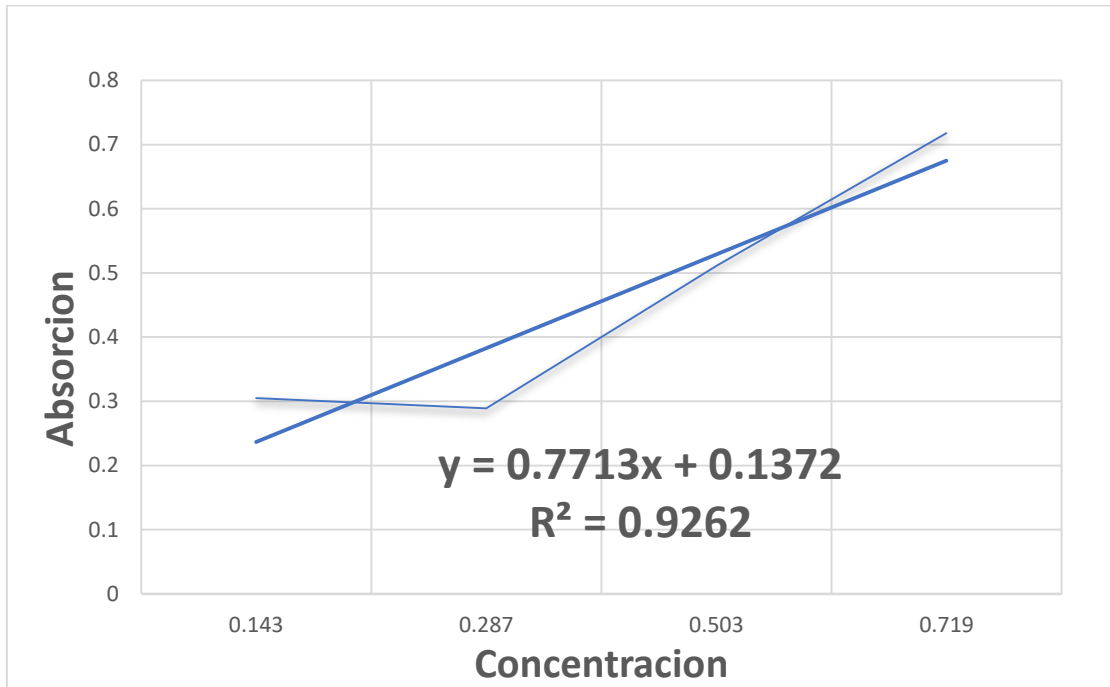


Figura 16: Curvas estándar para determinación de fosforo soluble.

Al propagar *A. niger* en medio de cultivo caldo NBRIP en matraces en agitación conteniendo distintas concentraciones de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y determinar espectrofotométricamente la cantidad de fosforo soluble y presente en el sobrenadante del caldo NBRIP y utilizando como referencia la curva estándar con base en K_2HPO_4 , se encontró que la proporción de fosforo soluble se incrementó conforme se incrementó la cantidad de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, encontrándose que la mayor cantidad de fosforo solubilizado por *A. niger* fue en el medio de cultivo con mayor cantidad de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (5 gr) tal y como se observa en la figura 17, donde se aprecia que a mayor concentración de este compuesto mayor es la cantidad solubilizada de fosforo. Sin embargo, estos resultados son diferentes a los reportados por Esparza, (2020) quien encontró que conforme aumento la concentración de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ disminuye la

concentración de fósforo soluble en el medio, utilizando una cepa de *Pseudomonas* denominada P2S. Mientras que Acosta, (2022) reporta resultados similares a los de esta investigación, utilizando una cepa de *Brevibacillus brevis* y teniendo como parámetro de medida el diámetro de solubilización de fosfato en caja Petri y el número de horas, donde encontró una alta correlación (0.9987) entre las variables y demostrando que a medida que aumentó el número de horas, la eficiencia de solubilización de fosfato aumentó de manera exponencial.

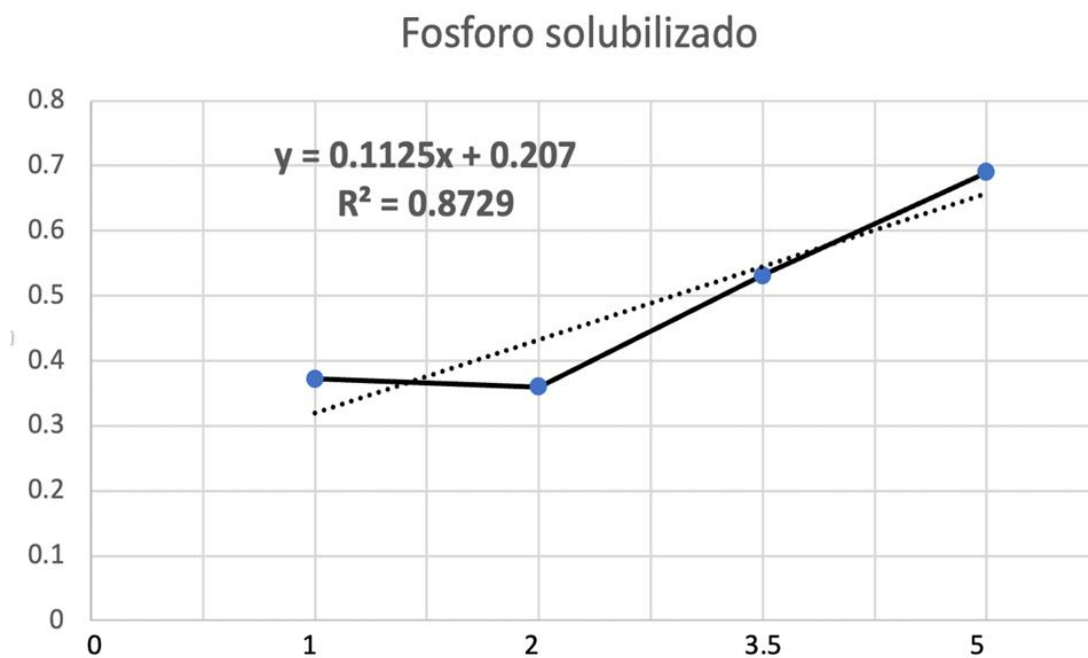


Figura 17: Fosfato solubilizado por *Aspergillus niger* en caldo NBRIP a las 72 h.

Efecto de fósforo soluble, esporas y micelio de *Aspergillus niger* en el desarrollo de plantas de tomate y chile

Cultivo de Tomate

El fósforo juega un papel importante en el crecimiento de las plantas ya que es el encargado de las reacciones de energía (ATP y ADP), encargados de proporcionar la

suficiente energía para su crecimiento (Munera y Meza, 2014). En la tabla 4 se puede observar que todos los tratamientos se comportaron de manera estadísticamente similar en cada uno de los parámetros, sin embargo, numéricamente se puede observar que todos los tratamientos mostraron un mayor desarrollo que el testigo (T4), destacando el tratamiento T1 que fue el que presentó la mayor altura de la planta (18.38 cm), número de hojas (30.75) y fue muy similar en el diámetro del tallo al tratamiento T2 que fue el tratamiento que presentó el mayor grosor (3.35 mm), además, también se puede observar que este tratamiento (T1) fue el que presentó el menor número de hojas con síntomas de deficiencia de fósforo (0.50), siendo estadísticamente diferente al testigo (T4) que fue el tratamiento que mostró el mayor número de hojas con deficiencia de fósforo (6.50). Diversos autores reportan los beneficios de la aplicación de microorganismos solubilizadores de fósforo y de la aplicación de fósforo soluble, por ejemplo, Arias *et al.*, (2019) reportan que la inoculación de plántulas de tomate con *A. niger*, otros hongos solubilizadores de fósforo y hongos micorrizicos arbusculares aumentaron el contenido de fósforo en los tratamientos y por ende las plantas presentaron un mayor desarrollo en comparación con el tratamiento testigo sin inocular. Por su parte Acosta, (2022) menciona que el aplicar en el cultivo de uchuva a *Brevibacillus brevis* con capacidad de solubilizar fósforo, dicho cultivo presentó un aumento en la biomasa aérea de 3.2 cm, así como un mayor diámetro de tallo, en comparación con los demás tratamientos. De igual manera Noh *et al.*, (2014) reportan que la aplicación de dos rizobacterias (KCH3 y TSACH2) aisladas de la rizosfera de Chile habanero mostraron la capacidad de solubilizar fósforo, además, aplicadas a plántulas de tomate, promovieron su crecimiento y desarrollo (14.29 y 12.63 cm de altura y 128 y 119 mg de materia seca) en comparación con el testigo (10.51 cm de altura y 90 gr de materia seca). De manera similar Losada y Moreno (2021) menciona que la aplicación de microorganismos solubilizadores de fósforo favoreció el desarrollo del cultivo de papa, ya que las plantas tratadas presentaron un mayor número de tallos (3 a 5 tallos más que el testigo) y mayor diámetro, además, de un mayor número de hojas.

Tabla 4: Evaluación del comportamiento de plántulas de tomate a la aplicación de conidios, micelio y fosforo soluble de *Aspergillus niger*.

Tratamientos	Altura de la Planta cm	Diámetro del Tallo mm	N° de Hojas	N° de Hojas con Deficiencia de P
T1- P soluble	18.38 ± 0.77A	3.16 ± 0.12A	30.75 ± 2.04 A	0.50 ± 0.43B
T2- Conidios	17.30 ± 0.77A	3.35 ± 0.12A	30.50 ± 2.04 A	1.50 ± 0.43B
T3- Micelio	16.88 ± 0.77A	2.91 ± 0.12AB	28.75 ± 2.04 A	2.00 ± 0.43B
T4- Testigo	16.13 ± 0.77A	2.59 ± 0.12B	25.25 ± 2.04 A	6.50 ± 0.43A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Cultivo del chile

En el ensayo con plántulas de chile se pueden observar que todos los tratamientos se comportaron de manera estadísticamente similar entre ellos (T1, T2 y T3) y estadísticamente diferentes al testigo (T4), que presentó el menor desarrollo en cada uno de los parámetros, sin embargo, entre los tratamientos se puede observar que existió diferencia numéricamente (Tab. 5), siendo el T3 el que presentó la mayor altura de la planta (9.13 cm), seguido de T1 (8.98 cm) y, además, este último fue el que presentó el mayor diámetro del tallo (1.92 mm), número de hojas (11.25) y menor número de hojas con sintomatología de deficiencias de fósforo (0.25), siendo estos dos tratamientos junto con T2 significativamente y numéricamente diferentes al testigo, que fue el tratamiento que presentó el menor desarrollo de las plantas y el mayor número de plantas con hojas deficientes de fósforo. Diversos autores reportan los beneficios de la inoculación de microorganismos solubilizadores de fósforo a diversos cultivos siendo uno de ellos el cultivo del chile, por ejemplo, González *et al.*, (2016) mencionan que al inocular una cepa de *Serratia plymuthica* con propiedades solubilizadoras de fosfatos, en plántulas de chile poblano, obtuvieron un aumento de crecimiento final (9.0 cm) en comparación con testigo (7.8 cm). De manera similar Patiño y Sánchez, (2014) reportan que al inocular plántulas de chile con cepas de *Burkholderia ambifaria* y *Burkholderia lata* con capacidad de solubilizar fosfato de roca

fosfórica, incrementaron la eficacia de esta fuente de fósforo permitieron la disminución de esta hasta a la mitad, sin que se viera afectado el crecimiento y desarrollo del cultivo. Mientras que Acosta, (2019) menciona que al aplicar a *Aspergillus* como tratamiento en plántulas de café, se logró un aumento de 6.25 cm de altura en comparación con los demás tratamientos.

Tabla 5: Evaluación del comportamiento de plántulas de chile a la aplicación de conidios, micelio y fósforo soluble de *Aspergillus niger*.

Tratamientos	Altura de la Planta en cm	Diámetro de Tallo en mm	N. de Hojas	N. de Hojas con deficiencia de P
T1- P Soluble	8.98 ± 0.50 A	1.92 ± 0.04 A	11.25 ± 0.37 A	0.25 ± 0.26 B
T2- Conidios	8.25 ± 0.50 AB	1.86 ± 0.04 A	10.25 ± 0.37 A B	0.25 ± 0.26 B
T3- Micelio	9.13 ± 0.50 A	1.91 ± 0.04 A	9.50 ± 0.37 B C	0.50 ± 0.26 B
T4- Testigo	6.38 ± 0.50 B	1.46 ± 0.04 B	8.00 ± 0.37 C	2.25 ± 0.26 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.005$).

Los resultados obtenidos con el tratamiento T1 en ambos casos (tomate y chile) fue el que obtuvo los más altos valores en los parámetros de desarrollo de las plantas (con excepción del parámetro de la altura en plántulas de chile, donde T3 fue superior numéricamente a T1), lo más probable es que esto se deba a que al aplicar el fósforo en forma soluble la planta lo absorbe y lo asimila de una manera más rápida, en comparación con los demás tratamientos, donde aún *A. niger* debe de adaptarse para su desarrollo y producción de compuestos para la solubilización del fósforo (ácidos o fosfatasas), sin embargo, la permanencia del microorganismo en el suelo tiene la ventaja de que este estaría constantemente solubilizando fósforo para el cultivo (Criollo *et al.*, 2012), quizás por ello, en las plántulas de chile inoculadas con micelio del hongo (3) estas presentaron una mayor altura en comparación con la aplicación de fósforo soluble (T1), debido a que en este tratamiento al ya no aplicarse fósforo soluble en un periodo de tiempo la planta agotó su fuente de fósforo soluble, mientras que en el

tratamiento con el microorganismo (T3), este al permanecer en el suelo siguió solubilizando el fósforo dejándolo disponible para la planta.

La importancia de la aplicación de fósforo soluble o la inoculación de los cultivos con microorganismos capaces de solubilizar fosfatos, radica en que el fósforo juega un papel vital en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Estos fosfatos de alta energía son parte de la estructura química del ADP y ATP, siendo la fuente de energía que promueve un sin fin de reacciones químicas dentro de la planta, que sirven para aumentar el crecimiento y el desarrollo de las mismas (Munera y Meza, 2014).

CONCLUSIONES

Se identificó morfológica y molecularmente a una cepa de *Aspergillus niger* solubilizadora de fosfatos en medio de cultivo NBRID (sólido y líquido). Dicha cepa solubilizo fosforo a diferentes rangos de pH (4, 5, 6 y 7), siendo el pH de 6, en el que presentó el mayor diámetro de halo de solubilización (IS de 2.25 mm) en medio NBRIP sólido. En medio NBRIP líquido el hongo mostró capacidad para solubilizar fosforo de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a distintas concentraciones (1 a 5 g/L). El fosforo soluble obtenido de *A. niger* en medio NBRIP líquido, las conidias y el micelio de este mismo hongo, al ser aplicados como tratamientos a plántulas de tomate y de chile, promueven el crecimiento de estos cultivos. Por lo que la aplicación de microorganismos solubilizadores de fosfatos son una alternativa ecológica al uso de fertilizantes químicos fosfatados.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Suárez, M.; Cruz-Martín, M.; Pichardo, T.; Rodríguez, E.; Barbón, R.; Capote, A.; Pérez, A. y Alvarado-Capó, Y. (2019). Solubilización *in vitro* de fosfatos por cepas de *Aspergillus* y *Penicillium* y promoción del crecimiento de plantas de café. *Biotecnología Vegetal*, 19 (1), 65-72. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472019000100065&lng=es&tlng=en
- Araujo-Blanco, J.; Rojas, Y., Depool, B., Antequera, A., Rodríguez, J., & Yegres, F. (2016). Microanálisis de una cepa de *Aspergillus niger* biocatalizadora de hidrocarburos policíclicos aromáticos HPA. *Acta Microscopica*, 25(2), 98-110. <https://acta-microscopica.org/acta/article/view/139>
- Arias, M. R. M.; Romero, A. J.; Bañuelos, J. T.; y Cruz, E. Y. (2019). Inoculación de hongos solubilizadores de fosforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(11): 1747-1757 file:///C:/Users/c_jim/Downloads/Dialnet-InoculacionDeHongosSolubilizadoresDeFosforoYMicorr-7230609.pdf
- Beltrán, P. M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 15 (1): 101- 113. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:401
- Beltrán-Pineda, M. E. (2014). Bacterias solubilizadoras de fosfato con potencial biofertilizante en suelos cultivados con papa (*Solanum tuberosum*). *Revista Agronomía*. 22 (2): 7- 20. [http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22\(2\)_2.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22(2)_2.pdf)
- Bertsch, F. (2006). El recurso tierra en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 30(1): 133 -156. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43630112>

- Bondada, B. R. y Syvertsen, P. J. (2003). Leaf chlorophyll, net gas Exchange and chloroplast ultrastructure in citrus leaves of different nitrogen status. *Tree Physiology*. 23(8): 553-559. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.8.553>
- Brady, N. C. y R. Weil R. (2002). *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River.13. New Jersey, U. S. A. 621 p.
- Briat, J. F.; Gaymard, F. y Dubos, C. (2015). Iron nutrition, biomass production and plant product quality. *Trends Plant Sci*. 20 (1): 33- 40. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.005>
- Brouwer, C.; Ph, D. y Elliott, M. (2006). *El tomate, sus datos e historia*. Harris County Cooperative Extension. Houston, Texas, USA. 1-2 pp. <http://counties.agrilife.org/harris/files/2011/05/eltomate.pdf>
- Camacho, F. F. y Bruulsema, T. W. (2017). Uso eficiente del fosforo en la agricultura- dosis- técnica de aplicación. 1-3 pp. In: INTAGRI (Ed). *Congreso internacional de nutrición y fisiología vegetal aplicadas*. México <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>
- CCB. (2015). *Manual de Tomate*. Cámara de Comercio de Bogotá. In: <http://hdl.handle.net/11520/14307> (Fecha de consulta: 02 Noviembre 2022).
- Cestoni, F.; De Jovel G. y Urquilla, A. (2006). Perfil de negocios de tomate cherry o cereza hacia el mercado de los Estados Unidos. *In:* https://www.academia.edu/7215115/PERFIL_DE_NEGOCIOS_DEL_TOMATE_CHER (Fecha de consulta: 05 octubre 2022).
- Chakraborty, B.; Chakraborty, U.; Sha U.; Sunae, K. y 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. [http://www.idosi.org/wjas/wjas6\(2\)/13.pdf](http://www.idosi.org/wjas/wjas6(2)/13.pdf)
- Cisneros, R. C. A.; Sanchez, P. M. y Menjivar, J. C. F. (2016). *Infuencia de Microorganismos Solubilizadores de Fosforo del Suelo y su Absorcion por*

- Plantulas de Café. Revista Bioagro, 28(2) 95-106.
<https://ve.scielo.org/pdf/ba/v28n2/art04.pdf>
- CCI. (2006). Canasta de productos de Plan Hortícola Nacional. Corporación Colombiana Internacional. Bogotá, Colombia. 539 p.
- Corrales. L.C.; Arevalo, Z. Y. y Moreno, V. E. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana en el desarrollo vegetal. Revista Publicación Científica eb Ciencias Biomédicas, 21 (12): 1794- 2470.
<http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n21/v12n21a06.pdf>
- Criollo, C. P. J.; Obando, M.; Sánchez, L. y Bonilla, R. R. (2012). Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) asociadas a *Pennisetum clandestinum* en el altiplano cundiboyacense. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 13 (2): 189- 195.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5624579>
- Díaz, C. (2007). Caracterización Agrocadena de Tomate. Dirección Regional Central Occidental. M. A. G. Grecia, Costa Rica. 46 p.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9892.pdf>
- Díaz T. y Hernández, D. A. (2003). Comportamiento de la germinación de las semillas tratada con cloro. Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova. Cuba. 63 – 66 pp.
- Echeverri, E. J. (2018). Dinámica del fosforo suelo – planta en regiones tropicales. Tesis de maestría. Universidad nacional de Colombia. Medellín, Colombia, Colombia. 83 p. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69611/39456768.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Emsley, J. (2001). Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements. Oxford University Press. 1. New York, United States of America. 538 p.
- Epstein, E. y Bloom, A. J. (2005). Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer Associates. 2. Massachusetts, U. S. A. 380 p.

- Epstein E. y A. J. Bloom. (2006). Nutrição mineral de plantas: Principios e perspectivas. Planta. 2. Janeiro, Brasil. 404 p.
- Escalona, V.; Alvarado, P.; Monardes, H.; Urbina, C. y Martin, A. (2009). Manual del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Nodo horticula, Universidad de Chile. Santiago Chile. 60p.
- Escobar, V. H y Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. In: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1892> (Fecha de consulta: 08 octubre 2022).
- Estrada, O. E.; Trejo, T. L. I.; Gómez, M. F. C.; Núñez, E. R. y Sandoval, M. V. (2011). Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. Revista Chapingo Serie Horticultura. 17 (3): 129- 138. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v17n3/v17n3a5.pdf>
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C. y Clark, B. R. (2002). Micronutrients in crop production. Adv. Agron, 77: 185- 286. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6)
- Fankem, H.; Nwaga, D.; Deubel, A.; Dieng, W. y Merbach, W. (2006). Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. African Journal of Biotechnology, 5 (24): 2450- 2460. <https://academicjournals.org/journal/AJB/article-full-text-pdf/4AD89749047>
- Fernandez, L.; Zalba, P. y Gomez, P. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato inorganico aisladas de suelos de la region sojera. Revista CI. Suelo. Argentina. 23(1): 31-37 <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v23n1/v23n1a04.pdf>
- Fernández, A. I. (2021). El ciclo del fósforo o ciclo biogeoquímico del fósforo. In: <https://www.greenteach.es/el-ciclo-del-fosforo-o-ciclo-biogeoquimico-del-fosforo/> (Fecha de consulta: 09 septiembre 2022).
- Fernández, M. T. (2007). Fosforo: Amigo o enemigo. Revista ICIDCA. Sobre los derivados de caña. 2 (61): 51- 57. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>

- Fornaris, G. J. (2007). Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate – Características de la planta. Estación Experimental Agrícola. Colegio de Ciencias Agrícolas. Universidad de Puerto Rico. In: <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Caracter%C3%ADsticas-de-la-Planta-v2007.pdf>
- Gautam, A. K., y Bhadauria, R. (2012). Characterization of *Aspergillus* species associated with commercially stored triphala powder. African journal of Biotechnology, 11 (104): 16814- 16823. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/130059>
- Gebrim, F.; Ferreira, N. R.; Silva, I.; Schulthais, F.; Vergutz, L.; Costa, P. L.; Fonseca, M. F. y Jesús, G. (2010). Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 34 (4): 1195- 1205. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400019>
- Geiser, D. M., *et al.*, (2004) Fusarium-ID v. 1.0: a DNA sequence database for identifying *Fusarium* [online]. European Journal of Plant Pathology. 110: 473-479. [viewed 10 July 2018].
- Gonzalez, M. A.; Almarez, J. J.; Ferrera, R.; Rodriguez, M. P.; Taboada, O. R.; Trinidad, A.; Alarcon, A. y Arteaga, R. I. (2016). Caracterización y Selección de Rizobacterias Promotoras de Crecimiento en Plántulas de Chile Poblano (*Capsicum annuum L.*). Revista Int. Contam. Ambie. 33(3): 463 – 474 <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v33n3/0188-4999-rica-33-03-463.pdf>
- Haifa. (2014). Guía del cultivo: Tomate. In: <https://www.haifa-group.com/es/gu%C3%ADa-del-cultivo-tomate>
- Hanan, A. A. M. y Mongradon, J. P. (2009). Malezas de mexico- *Solanaceae Lycopersicon esculentum* P. Mill. In: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/ficha.htm#9.%20Referencias>

- Hosier S. (1999). Guide to Symptoms of Plant Nutrient Deficiencies. The University of Arizona. Publication AZ1109.
<https://dagus.unison.mx/Zamora/2.%20ALGUNAS%20DEFICIENCIAS%20NUTRICIONALES%20EN%20CULTIVOS%20PROTEGIDOS.pdf>
- INSST. (2021). *Aspergillus spp.* Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
In: <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/hongos/aspergillus-spp>
- Japón, Q. J. (1980). El cultivo extensivo del pimiento para industria. Hojas divulgadoras, 9, 80. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1980_09.pdf
- Jaramillo, F. M. E.; Dorantes, A. L.; García, B. R. y Welte-Chanes, J. (2010). Mexican Pickled Jalapeño Pepper. Handbook of Fruit and Vegetable Flavors, 947–962.
<https://doi.org/10.1002/9780470622834.ch49>
- Kucey, R. (1983). Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. Canadian Journal Soil Science. 63: 671- 678.
- Loneragan, J. F.; Webb, M. J (1993). Interacciones entre el zinc y otros nutrientes que afectan el crecimiento de las plantas. En: Robson, AD (eds) Zinc en suelos y plantas. Desarrollos en Ciencias de Plantas y Suelos, vol 55. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_9
- López, M. L. M. (2017). Manual Técnico del Cultivo de Tomate *Solanum lycopersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)- Laura Ramírez Cartín. San José, Costa Rica. 126 p.
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Mixquititla, C. G. y Villegas, O. G. (2016). Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. Acta Agrícola y Pecuaria. 2(3): 56.
<http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/22/30>
- Monardes, M. H.; Escalona, C. V.; Alvarado, V. P.; Urbina, Z. C; y Martin, A. B. (2009). Manual del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Universidad de

Chile. Facultad de CS. Agronómicas 60 p.
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>

Munera, V. G. A. y Meza, D. C. S. (2014). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología. Pereira, Colombia. 52 p. <https://hdl.handle.net/11059/5248>

Morales, M. (2018). Requerimientos Edafoclimáticos del Tomate. *In*: <https://www.elfield.com.mx/blog/requerimientos-edafoclimaticos-del-tomate>

Noh, M. J.; Yam, C. C.; Borges, G. L.; Zúñiga, A. J. J. y Godoy, H.; G. (2014). Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. *Terra Latinoamericana*, 32 (4): 273- 281.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400273&lng=es&tlng=es.

O'Donnell, K.; Kistler, H. C.; Cigelnik, E. y Ploetz, R. C. (1998). Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies [online]. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 1998, vol 95. 2044– 2049.
<https://doi.org/10.1073/pnas.95.5.2044>

FAOSTAT. (2020). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) cultivados en hidroponía. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 17(2): 5-18 pp. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v17nspe2/v17nspe2a2.pdf>

FAO. (2000). Database of Crops Constraints and Characteristics. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. *In*: <https://gaez.fao.org/pages/ecocrop-find-plant> (Fecha de consulta: 13 octubre 2022).

Patiño, T. C. y Sánchez, de Prager, M. (2014). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annum*). *Acta Agronómica*, 63 (2): 1- 13.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169930904005>

- Perez, E.; Sulbaran, M.; Ball, M. y Yarazabal, L. (2007). Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Revista Soil Biology and Biochemistry*. 11(39) 2905-2914. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.017>
- P&C, M. (2013). Catalogo Soporte Técnico de Chile. In: <https://xdoc.mx/preview/chile-capsicum-annun-5f964c1cd5448> (Fecha de consulta: 12 octubre 2022).
- Rice, R. W. (2007). The physiological role of mineral in the plant. In: *Mineral nutrition and plant disease*. Dafnoff L. E., Elmer W. H. y D. Huber M. (Eds). 9-29. The American Phytopathological Society. St Paul Minesota, U. S. A. 278 p.
- Rosas, S.; Rovera, M. y Correa, J. (2006). Phosphate-solubilizing *Pseudomonas putida* can influence the rhizobia-legume symbiosis. *Soil. Biol. Biochem.* 38: 3502-3505. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.008>
- Ruiz, F.; Marrero, P.; Cruz, O.; Murillo, B. y García, J. (2008). Influencia de los Factores Agroclimaticos en la Productividad de Albahaca (*Ocimum basilicum L.*) en una Zona Arida de Baja California Sur, Mexico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17 (11): 44- 47 <https://www.redalyc.org/pdf/932/93217109.pdf>
- Samson, R. A. y Pitt, J. I. (1990). *Modern Concepts in Penicillium and Aspergillus Classification*. Plenum Press. New York, U. S. A. 476pp.
- Santamarina, F. R. P. y Povero, G. (2017). Uso eficiente del fosforo en la agricultura-fuente, época, fertirriego. 2-3 pp. In: INTAGRI (Ed). *Congreso internacional de nutrición y fisiología vegetal aplicadas*. Mexico. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>
- SADER. (2015). Breve pero picante historia del Chile. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. In: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/breve-pero-picante-historia-del-chile> (Fecha de consulta: 12 octubre 2022).

- SIAP. (2020). Produccion anual agricola. Servicio de informacion agroalimentaria y pesquera. In: https://www.intagri.com/public_files/21.%20Cultivo%20de%20Chile%20en%20Mexico.pdf (Fecha de consulta: 12 octubre 2022)
- SIAP. (2021). Esenario mensual de productos afroalimentarios- tomate rojo (jitomate). Servicio de informacion agroalimentaria y pesquera. In: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/653162/Escenario_jitomate_jun21.pdf (Fecha de consulta: 12 octubre 2022).
- SIAP. (2021). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. In: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Fecha de consulta: 12 octubre 2022).
- Silva, A. Z.; Wamser, A. F.; Nowaki, R. H.; Cecilio, F. A. B. y Mendoza-Cortez, J. W. (2017). Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Agrociencia Uruguay*, 21 (2): 31- 43. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v21n2/2301-1548-agro-21-02-00031.pdf>
- Snyder, R. G. y Thomas, J. (1996). The basics of injecting fertilizer for field – grown tomatoes. In: <http://extension.msstate.edu/publications/fertigation-the-basics-injecting-fertilizer-for-field-grown-tomatoes#:~:text=Fertigation%3A%20The%20Basics%20of%20Injecting%20Fertilizer%20For%20Field%2DGrown%20Tomatoes,-Filed%20Under%3A&text=Fertigation%20refers%20to%20injecting%20fertilizer,solution%20into%20the%20irrigation%20water> (Fecha de consulta: 16 de octubre 2022).
- Sultenfuss, J. y Doyle, W. (1999). Functions of phosphorus in plants. *Better Crops*. 83 (1): 6- 7. [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/53639639D7A590D68525798000820183/\\$FILE/Better%20Crops%201999-1%20p06.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/53639639D7A590D68525798000820183/$FILE/Better%20Crops%201999-1%20p06.pdf)
- Ticconi, C. A.; Delatorre, C. A. y Abel, S. (2001). Attenuation of phosphate starvation responses by phosphite in Arabidopsis. *Plant Physiology*. 127 (3): 963- 972. <https://doi.org/10.1104/pp.010396>

Vallejo, C. F. A. (1999). Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia. Universidad de Colombia. Palmira. Colombia 216 p.

Hong-Yuan, W.; Liu, S., Li-mei, Z.; Ji-zong, Z.; Tian-zhi, R.; Bing-quan, F.; y Hong-bin, L. (2015). Preparation and utilization of phosphate biofertilizers using agricultural waste. *Journal of Integrative Agriculture*, 14 (1): 158- 167.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60760-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60760-7)

Weir, R. (1984). Molybdenum deficiency in plants AGFACTS. In:
<https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/soils/more-information/improvement/molybdenum>

ANEXOS



Figura 18: Plántulas de tomate tratadas con los diferentes tratamientos, A) Plántulas de tomates tratadas con fosforo soluble, esporas y micelio de *Aspergillus niger* a los 40 días. B y C) hojas de tomate del tratamiento testigo, donde se puede apreciar la coloración morada de las nervaduras, siendo esta la sintomatología típica de deficiencia de fosforo.

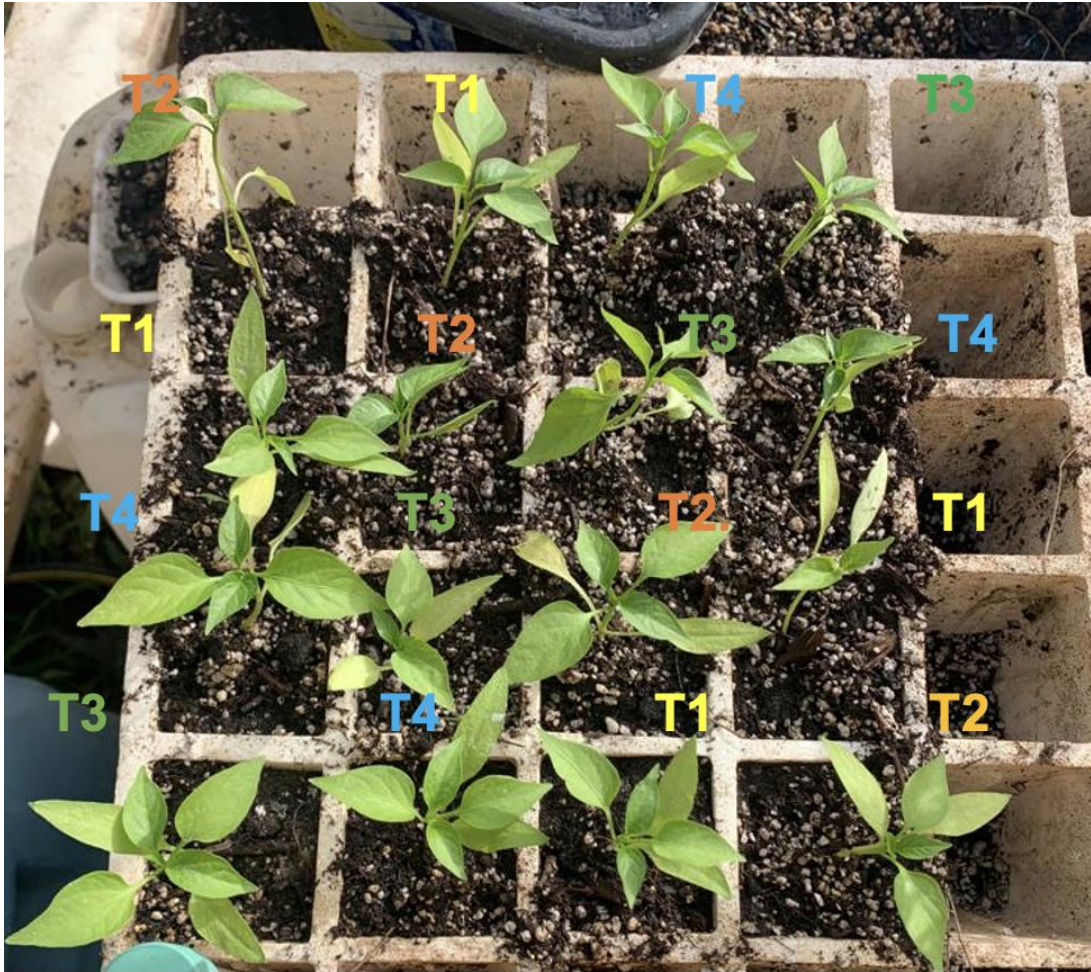


Figura 19: Plántulas de chile tratadas con los diferentes tratamientos; T1) Fosforo soluble, T2) Conidios, T3) micelio de *Aspergillus niger* y T4) Tratamiento testigo, en el cual se puede apreciar un menor desarrollo de las plantulas.

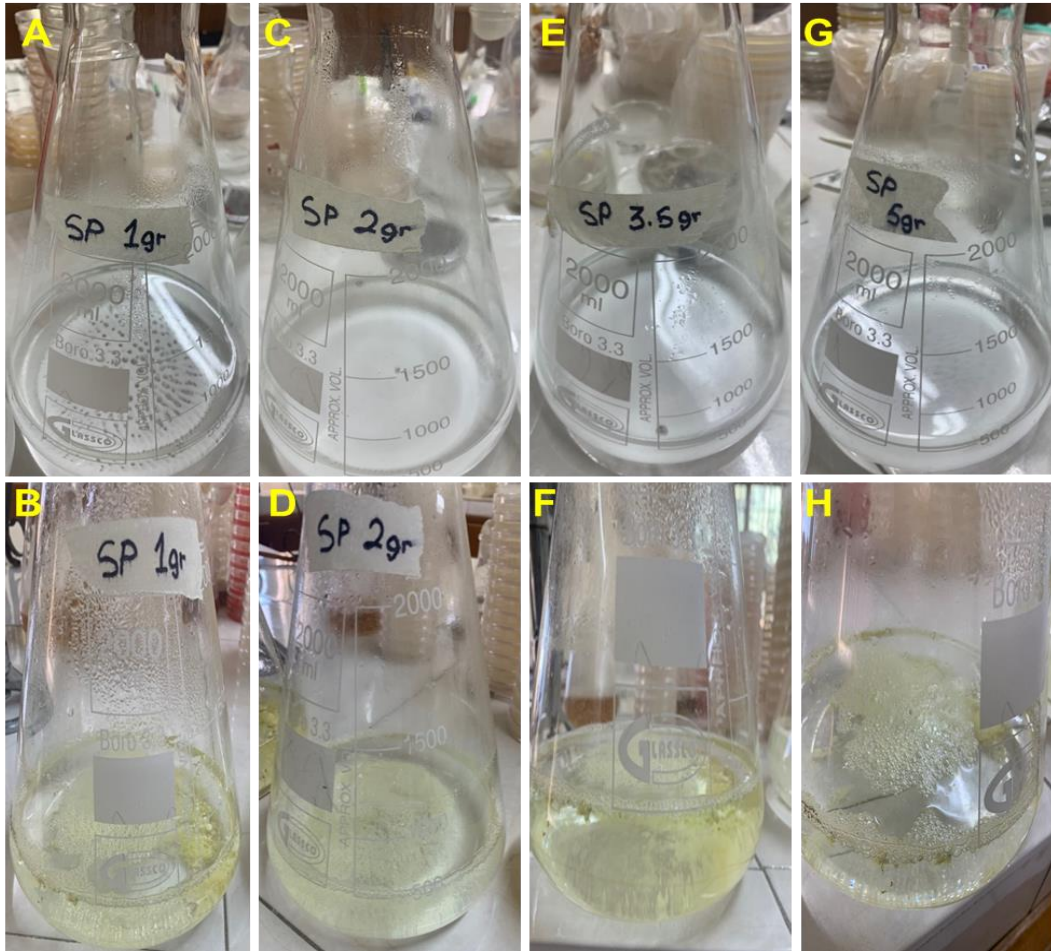


Figura 20: Medio de cultivo NBRIP liquido con distintas concentraciones de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ antes y después de la inoculación con *Aspergillus niger*. A) T1= 0.143 gr/L antes de la inoculación con el hongo, B) T1 a las 72 h después de la inoculación, C) T2= 2.0 g/L antes de la inoculación, D) T2 a las 72 h después de la inoculación, E) T3=3.5 antes de la inoculación, F) T3 a las 72 h después de la inoculación, G) T4=5 g/L antes de la inoculación, H) T4 a las 72 h después de la inoculación.