

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMIA

Evaluación de la roca fosfórica Carolina del Norte inoculada con cepas fúngicas como fertilizante para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero.

Tesis presentada como parte de
los requisitos para optar al grado
de Licenciado en Agronomía

Carmen Gloria Cárdenas Alvarado

VALDIVIA – CHILE

2006

Profesor patrocinante

Eduardo Valenzuela F
Lic.Cs.,M.Sc.Dr.Cs

Profesor Copatrocinante

Dante Pinochet T
Ing.Agr., M.Sc., Ph.D.

Profesor Informante

Nancy Andrade S
Ing.Agr., M.Sc

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	4
2.1	Importancia del fósforo (P)	4
2.1.1	Comportamiento del P en el suelo	4
2.1.1.1	Mecanismos de reacción (fijación) del P en el suelo	5
2.1.2	Formas de P en el suelo y la absorción por las plantas	6
2.2	Fertilizantes fosforados	8
2.2.1	Antecedentes generales	8
2.2.2	Tipos de fosfatos y su solubilidad	8
2.3	Roca fosfórica	9
2.3.1	Características generales de la roca fosfórica	9
2.3.2	Factores que influyen en la efectividad de la roca fosfórica	10
2.3.2.1	Características químicas y mineralógicas	10
2.3.2.1.1	Contenido de P de la roca fosfórica	11
2.3.2.2	Reactividad	13
2.3.3	Reacción de la roca fosfórica con el suelo	14
2.4	Solubilización de fosfatos por microorganismos del suelo	16
2.4.1.1	Mecanismos de acción en la solubilización de P	17
2.4.2	Promoción en el crecimiento de plantas por hongos solubilizadores de fosfatos	19

Capítulo		Página
2.4.2.1	<i>Aspergillus niger</i> como solubilizador de fosfatos	20
2.5	Biofertilizantes	21
2.5.1	Clasificación de biofertilizantes	22
2.6	Cultivo del tomate	22
2.6.1	Características generales de la especie	22
2.6.2	Características botánicas	23
2.6.3	Suelo	24
2.6.3.1	Humedad del suelo	25
2.6.4	Clima	25
2.6.4.1	Requerimientos de temperatura	25
2.6.5	Requerimientos de nutrientes	26
2.6.6	Trasplante	26
2.6.7	Importancia del cultivo en Chile	27
3	MATERIAL Y METODO	28
3.1	Materiales	28
3.1.1	Biológico	28
3.1.2	Reactivos	28
3.1.3	Equipos	29
3.1.4	Otros	29
3.2	Método	30
3.2.1	Ubicación y duración del ensayo	30
3.2.2	Características del suelo	30
3.2.2.1	Procesamiento del suelo	31
3.2.2.1.1	Esterilización de muestras de suelo	32
3.2.3	Masificación de cepas fúngicas	32
3.2.4	Fuentes de fertilización	33
3.2.5	Establecimiento del ensayo	34

Capítulo		Página
3.2.5.1	Preparación del suelo para la siembra	34
3.3	Evaluaciones en el suelo	35
3.3.1	Fósforo	36
3.3.2	pH	36
3.4	Evaluaciones el material vegetal	36
3.4.1	Porcentaje de emergencia de las plántulas	36
3.4.2	Porcentaje de sobrevivencia	36
3.4.3	Largo radical	36
3.4.4	Altura de la plántula	37
3.4.5	Largo total de la plántula	37
3.4.6	Número de hojas por plántula	37
3.4.7	Peso fresco de las plántulas	37
3.4.8	Peso seco de las plántulas	37
3.4.9	Concentración de P en las plántulas	38
3.4.10	Absorción de P por las plántulas	38
3.5	Diseño experimental y estadístico	38
4	PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
4.1	Roca fosfórica Carolina del Norte tratada con cepas fúngicas y su efecto sobre dos características químicas generales del suelo	41
4.1.1	Evaluación del fósforo disponible y pH en agua (1:2,5) del suelo tratado y no tratado con roca fosfórica Carolina del Norte y cepas fúngicas	41
4.2	Roca fosfórica Carolina del Norte tratada con cepas fúngicas y su efecto en la emergencia y sobrevivencia de plántulas de tomate	46

Capítulo		Página
4.3	Evaluación del peso fresco y seco, concentración de fósforo y absorción de fósforo en plántulas de tomate tras su cultivo en suelo tratado y no tratado con Roca fosfórica Carolina del Norte y cepas fúngicas.	48
4.4	Roca fosfórica Carolina del Norte tratada con cepas fúngicas y su efecto en las variables de crecimiento en las plántulas de tomate	53
5	CONCLUSIONES	58
6	RESUMEN SUMMARY	60 62
7	BIBLIOGRAFIA	64
	ANEXOS	72

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características químicas de tres rocas fosfóricas	12
2	Análisis químico de la roca Carolina del Norte	13
3	Solubilidad en agua del P de varias fuentes fosfatadas	13
4	Solubilidad al citrato de amonio neutro, ácido cítrico al 2% y al ácido fórmico de diferentes rocas fosfóricas	14
5	Tratamientos para el cultivo de plántulas de tomate	39
6	Fósforo disponible final (ppm de P-Olsen) y pH en agua final (1:2,5) para los distintos tratamientos donde se cultivaron las plántulas de tomate	43
7	Porcentaje de emergencia y sobrevivencia de plántulas de tomate bajo distintos tratamientos	47
8	Peso fresco, peso seco, concentración de fósforo (% de P) y absorción de fósforo (mg de P) en plántulas de tomate desde los distintos tratamientos	50
9	Altura, número de hojas, largo radical y largo total de plántulas de tomate cultivadas bajo distintos tratamientos	54

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Concentración (%) de fósforo en plántulas de tomate por tratamiento y repetición	73
2	Porcentaje (%) de emergencia de plántulas de tomate por tratamiento y repetición	73
3	Porcentaje (%) de sobrevivencia de plántulas de tomate por tratamiento y repetición	73
4	Altura (cm) de plántulas de tomate por tratamiento y repetición a los 30 días de cultivo	74
5	Largo radical (cm) de plántulas de tomate de 30 días por tratamiento y repetición	74
6	Número de hojas en plántulas de tomate de 30 días por tratamiento y repetición	75
7	Largo total (cm) por tratamiento y repetición de plántulas de tomate cultivadas durante 30 días	75
8	Peso fresco (g) por tratamiento repetición de plántulas de tomate de 30 días	76
9	Peso seco (g) por tratamiento y repetición de plántulas de tomate de 30 días	76
10	Valor final de fósforo disponible (ppm P-Olsen) en el suelo utilizado por tratamiento y repetición luego de 30 días	76
11	Valor final de pH en agua en el suelo utilizado por tratamiento y repetición luego de 30 días	77
12	Análisis de varianza de la concentración de fósforo en plántulas de tomate (\log_{10} (concentración_%_))	77

Anexo		Página
13	Análisis de varianza para el porcentaje de emergencia de plántulas de tomate (Asin (sqrt(emergentes/100)))	77
14	Análisis de varianza para el porcentaje de sobrevivencia de plántulas de tomate	77
15	Análisis de varianza para la altura de plántulas de tomate de 30 días	78
16	Análisis de varianza para el largo radical de plántulas de tomate de 30 días	78
17	Análisis de varianza para el número de hojas de plántulas de tomate de 30 días	78
18	Análisis de varianza para el largo total de plántulas de tomate de 30 días	78
19	Análisis de varianza para log ₁₀ (peso fresco) de plántulas de tomate de 30 días	79
20	Análisis de varianza para log ₁₀ (Peso seco) de plántulas de tomate de 30 días	79
21	Análisis de varianza para ppm de P-Olsen del suelo tras un cultivo de tomate de 30 días	79
22	Análisis de varianza para pH del suelo tras un cultivo de tomate de 30 días	79
23	Análisis de varianza de la absorción de fósforo por plántulas de tomate	80

1 INTRODUCCION

La capacidad de las plantas para adaptarse a diferentes condiciones de clima y suelo es lo que define en parte la supervivencia de las mismas y la producción de los cultivos. Tal adaptación, será resultado de la interacción entre las raíces y los componentes del suelo que los circunda. En esta interacción se ha determinado que los microorganismos del suelo, por presentar un rol importante en el ciclo de varios nutrientes del suelo; incluyendo el fósforo (P); pueden facilitar el desarrollo vegetal a través de una mayor disponibilidad de los nutrientes.

El P es un elemento químico esencial para la vida pero en muchos suelos agrícolas su disponibilidad para las plantas es baja debido a los procesos químicos que retienen el P soluble de los fertilizantes en formas insolubles en el suelo. En general, como consecuencia de la aplicación regular de fertilizantes fosforados los suelos agrícolas han acumulado reservas de P total. Sin embargo, en suelos ácidos los óxidos e hidróxidos de fierro y aluminio y, en suelos básicos, los carbonatos de calcio retienen el fosfato contenido en los fertilizantes químicos. Es por ello que las estrategias que faciliten la adquisición por la planta de este nutriente cobra día a día mayor interés.

Es en este contexto que algunos microorganismos surgen como una alternativa de utilización de P no disponible. Muchas bacterias y hongos del suelo y referente a estos últimos predominantemente los del género *Aspergillus* y *Penicillium*, han mostrado poseer capacidad de solubilizar fosfato, es decir, para liberar este anión de aquellos enlaces químicos a los que se encuentra unido, lo que realizarían a través, de la excreción de ácidos orgánicos y posiblemente fosfatasas.

Surgen así, los biofertilizantes, como preparaciones de microorganismos vivos que inciden en la nutrición vegetal, facilitando y potenciando las interacciones beneficiosas que de forma natural se producen entre los microorganismos y los vegetales, promoviendo la utilización más eficaz, por parte de las plantas, de aquellos nutrientes que se encuentran en el suelo y de esta forma evitar la incorporación de fertilizantes químicos o utilizarlos como complemento de la fertilización química tradicional, disminuyendo así los costos y la contaminación. Importante por lo tanto para el ámbito económico como ecológico en la producción agrícola

Por lo anteriormente expuesto y como una tercera etapa que sigue a dos investigaciones anteriormente realizadas en la Universidad Austral de Chile, que han demostrado la acción solubilizadora de cepas fúngicas de *Aspergillus niger* Van Tieghem sobre compuestos de P insolubles, específicamente sobre Roca Fosfórica Carolina del Norte (RFCN); surge la alternativa de continuar evaluando el efecto solubilizador de las cepas fúngicas mencionadas, pero esta vez utilizando como indicador a plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), por ser este, el cultivo hortícola de mayor importancia económica en Chile.

La hipótesis de trabajo planteada en esta investigación es que cepas fúngicas de *Aspergillus niger* al incrementar la disponibilidad de P en el suelo debido a la solubilización de P desde RFCN, permiten un buen establecimiento y mayor crecimiento de plántulas de tomate en almácigo.

Los siguientes objetivos se proponen para aceptar o rechazar la hipótesis:

Objetivo general: Evaluar la adición de RFCN inoculada con cepas fúngicas de *A.niger* como fertilizante sobre el crecimiento y productividad de plántulas de tomate en almácigos usando suelo derivados de cenizas volcánicas.

Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la adición al suelo de RFCN con las cepas de *A. niger*, sobre el nivel de fósforo disponible y acidez del suelo (pH), al final del ensayo.
- Determinar el efecto de la adición al suelo de RFCN con las cepas de *A. niger*, sobre la productividad de materia fresca y materia seca, la concentración de P y absorción de P en las plántulas de tomate.
- Evaluar el efecto de la adición al suelo de RFCN con las cepas de *A. niger*, sobre la sobrevivencia y emergencia de plántulas de tomate y otros parámetros de crecimiento de plántulas de tomate para trasplante.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Importancia del fósforo (P)

El P es un macronutriente esencial para el crecimiento de las plantas, siendo absorbido por éstas desde la solución del suelo. Constituyente fundamental de los sistemas de captación, almacenamiento y transferencia de energía, siendo componente importante de moléculas como ATP, ácidos nucleicos, proteínas y fosfolípidos, por lo cual forma parte de la mayoría de los procesos fisiológicos (BUCKMAN y BRADY, 1966; HAVLIN *et al.*, 1999).

Del contenido total de P del suelo sólo una pequeña cantidad que oscila entre 0.05 a 0.5 ppm se encuentra en la solución del suelo, pero la concentración de P requerida en solución por la mayoría de las plantas varía entre 0.003 a 0.3 ppm, lo cual depende de las especies que se cultiven y el nivel de producción de éstas. Si la concentración de la solución fuera constante sería suficiente para la mayoría de las especies cultivadas, pero este nutriente debe ser reemplazado varias veces a la solución del suelo desde las fracciones lábiles del suelo y cuando el suelo no es capaz de suministrar este elemento debe ser adicionado externamente para cubrir los requerimientos de los vegetales (DOMINGUEZ, 1997; TISDALE *et al.*, 1993).

2.1.1 Comportamiento del P en el suelo. Desde un punto de vista funcional y de la nutrición de los cultivos, se han considerado tres fracciones o componentes del P en el suelo, que son: el P en solución, el P lábil y el P no lábil (RODRIGUEZ, 1993).

El P en solución, se encuentra inmediatamente disponible para que las plantas lo absorban. El P lábil es el absorbido en la superficie de la fase sólida del suelo y que está en equilibrio directo y rápido con el P en solución y representa la cantidad de P disponible que puede pasar a la solución durante una temporada de cultivo. El P no lábil corresponde al anión fosfato que penetra y queda adsorbido en el interior de las partículas de arcilla o de los óxidos de hierro, por un mecanismo de difusión intrapartículas; este P no se encuentra en equilibrio directo con la solución pero si lo presenta con la fracción de P lábil, por lo tanto corresponde a los compuestos fosforados en el suelo que no salen a la solución en una temporada de cultivo (RODRIGUEZ, 1993).

2.1.1.1 Mecanismos de reacción (fijación) del P en el suelo. Según Pinochet (1995) citado por EPPLE (2000), los ingresos de P al suelo provienen de prácticas de fertilización orgánicas e inorgánicas y al ingreso de residuos por parte de los cultivos (parte aérea y radicular).

En los suelos de la zona sur de Chile, parte del P soluble aplicado como fertilizante reacciona con los componentes del suelo. Dos son los mecanismos químicos principalmente responsables de este fenómeno. Por una parte la adsorción del P a través de la reacción del fosfato sobre la superficie de las arcillas y otros coloides del suelo y el mecanismo de precipitación de compuestos fosforados insolubles, dependiente del pH del suelo y de la concentración de iones en la solución del suelo. Por último la inmovilización del P ligado a la materia orgánica como mecanismo propio de los microorganismos, es decir, biológico (PINOCHET, 1997; TISDALE *et al.*, 1993; Wild, 1988 citado por EPPLE, 2000).

Al agregar un fertilizante fosforado soluble la fracción de P de la solución aumenta en tamaño promoviendo un flujo hacia la fracción de P lábil en la cual prácticamente queda adsorbido todo el P incorporado a la solución; paralelo a

esto, se produce una gradiente de concentración con la fracción no lábil, comenzando un flujo lento de difusión vía intrapartícula vinculado a procesos de adsorción y esto por el aumento en tamaño del pool lábil. Parte del P aplicado por fertilización puede sufrir un proceso de precipitación no llegando a la solución, por lo cual queda parte de ese P en el pool lábil precipitado y parte en el no lábil precipitado (RODRIGUEZ, 1993; Pinochet, 1995 citado por EPPLE, 2000).

Al aplicar fertilizantes que no son solubles y que requieren de un proceso de solubilización para llegar a la solución del suelo, éstos adicionarían parte del P al “pool” lábil adsorbido (aquella parte solubilizada en una temporada de crecimiento de cultivo) y la otra será solubilizada lentamente a través del tiempo correspondiendo a la fracción o “pool” no lábil adsorbido. A su vez debido a fertilizaciones orgánicas y al ingreso de residuos por parte de los cultivos (parte aérea y radicular), existe un “pool” orgánico lábil y uno orgánico no lábil, los cuales pasarán a la solución dependiendo de la mineralización de la materia orgánica del suelo (RODRIGUEZ, 1993; Pinochet, 1995 citado por EPPLE, 2000).

2.1.2 Formas de P en el suelo y la absorción por las plantas. Según BLACK (1975), existen dos componentes o formas de P en el suelo, los que podrían ser fuente disponible de este elemento para la absorción de las plantas; así se encuentran los fosfatos orgánicos e inorgánicos.

Dependerá del tipo de suelo y de las prácticas de fertilización realizadas la cantidad presente de cada forma (Brady y Weil, 1999 citados por EPPLE, 2000).

Según TISDALE *et al.*, (1993), el P es absorbido por las plantas mayoritariamente como iones ortofosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}), los cuales están

presentes en la solución del suelo. La cantidad de cada una de las formas presentes depende del pH de la solución del suelo, así a un pH de 7,2 hay aproximadamente cantidades equivalentes de ambas especies iónicas, pero a medida que el pH disminuye el ión H_2PO_4^- es la forma predominante en la solución del suelo, mientras que el ión HPO_4^{2-} es quien predomina a pH más alto (cerca de 7,2).

El mismo autor señala que la planta toma el HPO_4^{2-} más lento que el H_2PO_4^- . También existen en la solución del suelo algunas moléculas de bajo peso molecular componentes del P orgánico soluble y que pueden ser absorbidas, pero generalmente son de menor importancia.

TISDALE *et al.*, (1993), también indican que muchos de los componentes de P orgánico en suelos no han sido caracterizados. La mayoría de los componentes de P orgánico son ésteres de ácido ortofosfórico y han sido identificados como inositol fosfato, fosfolípidos y ácidos nucleicos.

Las formas de P inorgánico incluyen dos grupos; aquellos que contienen Hierro y Aluminio y los que contienen Calcio. Los primeros predominan en suelos ácidos, ya que el P soluble precipita como fosfato de aluminio (variscita) y fosfato de hierro (estregita), en contraste de los compuestos cálcicos que son más solubles y tienden a desaparecer en suelos ácidos pero no en suelos alcalinos (Brady y Weil, 1999 citado por EPPLE, 2000; Tisdale *et al.*, 1993 citado por BARRERA, 2002).

Por lo anteriormente expuesto es que Wild (1992) y Havlin *et al.*, (1999) ambos citados por BARRERA (2002), postulan como una alternativa utilizar en suelos ácidos fertilizantes constituidos por fosfatos de calcio precipitados que se solubilizan en pH ácido.

2.2 Fertilizantes fosforados

A continuación se indican algunos antecedentes generales referentes a los fertilizantes fosforados.

2.2.1 Antecedentes generales. Los fertilizantes fosfóricos se clasifican de acuerdo al grado de solubilidad que presentan en el suelo, así existen los que contienen fundamentalmente fosfatos solubles en agua, fosfatos solubles en citrato o en ácido cítrico y fosfatos no solubles en citrato (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO), 1986). La suma de lo soluble en agua, soluble en citrato e insoluble en citrato constituye el contenido de P total del fertilizante. Independientemente del pH de la solución del suelo se disuelven los fertilizantes solubles en agua, en cambio los fertilizantes con diverso grado de solubilidad en ácido fórmico y citrato de amonio obedecen a una disolución dependiente de la acidez (pH) del suelo (TISDALE *et al.*, 1993).

2.2.2 Tipos de fosfatos y su solubilidad. Según SIERRA (1990), el tipo de fosfato que forma un fertilizante fosforado es quien determina su solubilidad ya sea en agua o en soluciones ácidas; de esta manera se clasifican en:

- a) Fosfatos tricálcicos; en este grupo se encuentran las Rocas fosfóricas que pueden ser de origen marino o igneo, tales como Bifox, Sechura, Carolina del Norte, Tribono.
- b) Fosfatos bicálcicos; que incluye algunos tales como Bifos, Fosfato de Magnesio fundido, Rhenania, Escorias Thomas.
- c) Fosfatos monocálcicos; tales como el Superfosfato Triple, Superfosfato Normal.

De esta forma el mismo autor señala que los primeros son más insolubles en agua e incluso en citrato, presentando una mayor solubilidad en

ácido cítrico. Los fosfatos bicálcicos son solubles en citrato, de mediana solubilidad con un alto contenido de calcio y por último los monocálcicos son altamente solubles en agua y presentan contenidos menores de calcio.

2.3 Roca fosfórica

ROJAS *et al.*,(1993), señalan que aunque las primeras pruebas con estos recursos fertilizantes de lenta solubilidad se efectuaron en el país hace ya más de cincuenta años, solo en las dos últimas décadas ha recibido un impulso significativo el conocimiento científico sobre su composición química, mineralógica y comportamiento agronómico.

La fuerte dependencia que presentan los cultivos por el P y el elevado costo de los fertilizantes fosfatados convencionales han estimulado el interés por el uso de las rocas fosfóricas y otras fuentes con costos de fabricación o aplicación más económicos, puesto que las rocas fosfóricas normalmente resultan ser productos más económicos por unidad de P aplicado; además, como son fertilizantes de lenta entrega, pueden proporcionar un suministro más sostenido de P en el tiempo y tener un efecto residual prolongado (CAMPILLO, 1991; ROJAS *et al.*,1993; SEPULVEDA *et al.*, 1997).

2.3.1 Características generales de la roca fosfórica. La fuente original para la manufactura de fertilizantes fosforados fueron los huesos, pero esta fuente pronto fue agotada. Actualmente las rocas fosfóricas de origen ígneo o marino, siendo esta última la más importante a escala comercial y que puede contener hasta un 80% de apatita, normalmente con constitución isomórfica, que existen en diversos yacimientos siendo los más importantes los del norte de África (Marruecos y Túnez) y de E.E.U.U (Florida y Carolina del Norte), se usan como materia prima para fabricar fertilizantes fosfatados como el superfosfato triple y el superfosfato normal, siendo Marruecos poseedor del 50% de la reserva

mundial de roca fosfórica. En Chile en la zona norte existen diversos depósitos de roca fosfórica, destacando los de Bahía Inglesa (Caldera) y de Mejillones (SIERRA, 1990; TISDALE *et al.*, 1993).

2.3.2 Factores que influyen en la efectividad de la roca fosfórica. La efectividad relativa de cualquier roca fosfórica en particular puede variar notoriamente, dependiendo de: la naturaleza química y mineralógica como de la forma física de la roca; las propiedades del suelo tales como pH, mineralogía de las arcillas, contenido de calcio, capacidad de adsorción y disponibilidad de P, características específicas de las plantas y condiciones climáticas (CAMPILLO, 1991; SEPULVEDA *et al.*, 1997).

2.3.2.1 Características químicas y mineralógicas. Las rocas fosfatadas difieren altamente en su composición química y el contenido de apatita (el material fosfatado principal) puede ser muy variable (Bolan *et al.*, 1993 citados por NANNIG, 1996). Químicamente corresponden a fosfatos tricálcicos o apatitas solubles en ácidos débiles o fuertes (SIERRA, 1990).

La fórmula general para la roca fosfórica es $\text{Ca}_{10-a-b} \text{Na}_a \text{Mg}_b(\text{PO}_4)_{6-x} (\text{CO}_3)_x \text{F}_{2+y}$ que corresponde al mineral conocido como apatita y en este caso por el radical F se denomina fluorapatita que es la más común. El radical F puede ser reemplazado por OH o Cl denominándose hidroxiapatita o cloroapatita. Los elementos Na, Mg y CO_3 son impurezas en reemplazo de Ca o PO_4 . La asimilabilidad por parte de las plantas del P contenido en la roca varía enormemente según su origen y aumenta con el grado de sustitución isomórfica de la estructura de la apatita, siendo esta última una de las características más importantes en relación al patrón de liberación del P de la roca fosfórica, prefiriéndose la sustitución isomórfica de un grupo carbonato por un fosfato, más que sustituciones por fluoruros o cloruros. La sustitución isomórfica del CO_3 por PO_4 reduce el tamaño de los cristales y aumenta la superficie

específica de los agregados de apatita (Hagin y Harrison, 1993 citados por NANNIG, 1996; TISDALE *et al.*, 1993; WILD, 1992). Bolan *et al.* (1993) citados por NANNIG (1996), afirman que el grado de sustitución del carbonato por el fosfato en la estructura de la apatita está estrechamente ligada a la reactividad de la roca.

2.3.2.1.1 Contenido de P de la roca fosfórica. Después de varios procesos y pasos de purificación, la roca fosfórica contiene entre 11,5 y 17,5% de P (27 a 41% P_2O_5 , usualmente 30%). Nada del P contenido es soluble en agua, aunque las proporciones solubles en citrato son variables y van entre el 5 al 17% del total del P contenido (TISDALE *et al.*, 1993).

En el Cuadro 1 se puede observar la composición química de tres rocas fosfóricas, de lo cual se desprende que la RFCN presenta uno de los mayores contenidos de fósforo como pentóxido de P y calcio como óxido de calcio.

CUADRO 1 Características químicas de tres rocas fosfóricas.

Elemento	Bifox (%)	Sechura (%)	Carolina del Norte (%)
P ₂ O ₅	18.3	30.0	30.0
CaO	29.3	48.4	48.2
MgO	01.1	00.4	00.5
K ₂ O	01.2	00.09	00.1
Na ₂ O	02.2	00.47	01.2
S	00.75	00.93	01.0
Cl ⁻	00.2	00.007	00.0073
Fe ₂ O ₃	02.2	01.3	00.6
Al ₂ O ₃	05.7	01.1	00.4
SiO ₂	32.4	05.3	02.1
F	01.35	03.7	s/i*

FUENTE: SIERRA (1990).

*s/i: sin información

En el Cuadro 2 se indican los resultados del análisis químico de la roca Carolina del Norte observando el elevado contenido de calcio como óxido de calcio que presenta, siendo los valores de óxido de aluminio muy bajos no constituyendo problema para los suelos.

CUADRO 2 Análisis químico de la roca Carolina del Norte

Roca	P₂O₅	K₂O	S	MgO	CaO
Fosfórica		(%)	(%)	(%)	(%)
Carolina del Norte (USA)	30.5	0.1	1.00	0.50	48.2
Sechura(Perú)	30.5	0.1	4.31	0.64	46.9
Bahia Inglesa(Chile)	18.4	1.2	1.00	1.10	29.0

FUENTE: CAMPILLO (1991).

2.3.2.2 Reactividad. Una propiedad importante de las rocas fosfóricas es su reactividad, la cual puede ser determinada mediante soluciones extractoras, midiendo la cantidad de P solubilizado por una determinada solución, esta solubilidad del P o reactividad de una roca fosfórica indica únicamente un índice relacionado con la velocidad a la cual la roca se disuelve para las plantas (PINILLA, 1994). En el Cuadro 3 se señala la solubilidad en agua del P de distintas fuentes fosforadas.

CUADRO 3 Solubilidad en agua del P de varias fuentes fosfatadas.

Fuente de P en agua (%)	P₂O₅ (%)	Solubilidad del P
Superfosfato triple	46	87
Superfosfato normal	20	85
Fosfato de Rhenania	32	menor 2
Roca fosfórica	32	menor 1

FUENTE: CAMPILLO (1990).

En el Cuadro 4 se presenta la solubilidad de las rocas en el citrato de amonio a pH 7, el ácido cítrico al 2% y al ácido fórmico. La determinación con citrato de amonio a pH 7 es un índice de solubilidad en el mediano plazo, en ácido cítrico al 2% es un indicador del comportamiento de la roca fosfórica en un medio más ácido y por último la solubilidad en ácido fórmico es en general más alta, debido a que es un ácido que tiene mayor actividad.

CUADRO 4 Solubilidad al citrato de amonio neutro, ácido cítrico al 2% y al ácido fórmico de diferentes rocas fosfóricas.

Tipo de Roca	Citrato de Amonio a pH 7	Ácido Cítrico al 2%	Ácido Fórmico
Bahía Inglesa(Bifox)	29.3	49	51
Carolina del Norte	21	55	83
Sechura o Bayovar	19	52	78
Mejillones	12	96	78
La Serena	01	20	24
Tampa o Florida	02	20	24

FUENTE: SIERRA (1990).

2.3.3 Reacción de la roca fosfórica con el suelo. Al aplicar fuentes fosfatadas insolubles en agua se libera inicialmente una menor cantidad de P y no se desprende a la vez una solución ácida, reduciéndose la formación de precipitados lo cual es una ventaja. La desventaja de usar roca es que la cantidad de P liberada inicialmente es muy baja y no satisface la mayoría de las veces la demanda inicial de las plantas como ha sido indicado en la revisión de PINILLA, 1994.

En general se puede decir que la disolución de la roca se favorece en condiciones de acidez (pH menor a 6) y bajos contenidos de calcio y P en la solución del suelo. Es así que las rocas fosfóricas pueden efectuar un aporte

importante de calcio, a través de su componente CaCO_3 en suelos de estas características y a la vez neutralizando la acción tóxica del aluminio en algunos suelos señalado en las revisiones de CAMPILLO, 1990, ROJAS *et al.*, 1993; SIERRA, 1990.

Las rocas fosfóricas pueden ser directamente utilizadas como fertilizantes cuando tienen alta reactividad en el suelo; dentro de este grupo se venden los fertilizantes Bifox, Carolina del Norte y Fosfato Tribono. En algunos casos para aumentar la reactividad de las rocas se incurre en un proceso de acidulación parcial de la roca con H_2SO_4 o H_3PO_4 , debido al contenido de P soluble en agua generado y la facilidad de manejo del producto, este tipo de fertilizante es conocido como roca fosfórica parcialmente acidulada o bajo la sigla RFPA (Marwaha, 1992 citado por CARRASCO, 2000; Sierra, 1990 citado por NANNIG, 1996), también se adiciona un tratamiento con ácido sulfúrico o fosfórico con una cantidad suficiente para que casi la totalidad del fosfato se haga soluble en agua generando el fosfato monocálcico conocido bajo el nombre de superfosfato, además en el tratamiento con ácido fosfórico se puede adicionar anhídrido de amoníaco generando los fertilizantes conocidos como fosfatos mono y diamónico que aportan P y NH_4 (Morel, 1971; Tisdale *et al.*, 1993; Wild, 1992 citados en la revisión de CARRASCO, 2000).

Otros procesos tales como; reacciones con ácidos orgánicos sintéticos, y/o ácidos orgánicos naturales (Goenadi *et al.*, 2000 citados por BARRERA, 2002) y la disminución del tamaño de las partículas (Babare *et al.* (1998) citados por BARRERA (2002)), también se han realizado para aumentar la solubilidad de la roca.

En su revisión, CAMPILLO (1991) indica que la roca fosfórica Carolina del Norte, tiene el aspecto de una arena gruesa, consistente en gránulos semiredondeados o esféricos, de color gris oscuro o gris negro; esta roca

presenta una porosidad natural, teniendo por lo tanto, un área superficial superior a cualquier otra roca y por ello mayor reactividad.

2.4 Solubilización de fosfatos por microorganismos del suelo

Los factores que afectan la concentración del P en la solución del suelo son de gran trascendencia en el crecimiento de las plantas siendo, en este sentido, de fundamental importancia la actividad de los microorganismos, ya que éstos desarrollan una serie de acciones mediante las cuales es posible movilizar P en el medio suelo-planta (BORIE *et al.*, 1983). Estas acciones se condensan principalmente en reacciones de mineralización de componentes orgánicos con liberación de ortofosfato, inmovilización de P y solubilización de compuestos de P (ALEXANDER, 1961; PAUL y CLARK, 1996, NAHAS *et al.*, 1994; TATE, 2000).

Los microorganismos del suelo son un instrumento en la solubilización de compuestos inorgánicos de P tales como, roca fosfórica, la cual efectúan por medio de productos sintetizados directamente desde la actividad microbial como lo son los ácidos orgánicos, los que liberan fosfato a través de la quelación de los iones metálicos a los que se encuentra asociado; convirtiendo así formas no disponibles de P en asimilables por la plantas (NAHAS *et al.*, 1994; REYES, 1991a, TATE, 2000).

Géneros de bacterias tales como; *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium* y hongos *Penicillium*, *Sclerotium*, *Aspergillus*, son efectivos en esta conversión (ALEXANDER, 1961).

Alexander (1977), citado por REYES (1991a) señala que bacterias, actinomicetes y hongos pueden solubilizar *in vitro* fosfatos insolubles en cantidades superiores a sus demandas.

Aunque la solubilización *in vitro* de fosfatos por bacterias del suelo se ha estudiado extensamente, estimándose que sobre el 50% de la población bacteriana de la rizósfera posee tal habilidad. Menor atención se ha dedicado al efecto de los hongos en tal sentido. Aunque se ha descrito la acción de diversas especies de hongos sobre fosfato tricálcico, hidroxí y fluorapatita, concluyendo que las cepas más activas pertenecen a *Aspergillus* y *Penicillium* (BORIE *et al.*, 1983, WHITELAW, 2000). Otros autores citan, adicionalmente los géneros *Trichoderma* (Altomare *et al.*, 1999 citados por REYES 1991a), *Mucor* y *Rhizopus* (Beer y Burns, 1980, citados por REYES 1991b).

La habilidad de algunos hongos para solubilizar componentes de P del suelo en estudios *in vitro* indica que la inoculación con éstos, podría aumentar la utilización de fosfatos del suelo por las plantas (WHITELAW, 2000).

Diversas investigaciones han reportado la utilización de microorganismos solubilizadores de P como fosfatos para incrementar la disponibilidad de éste para las plantas. Es así, como ya en la década del 80, se informó de cepas de hongos capaces de solubilizar P de las rocas fosfatadas (TISDALE *et al.*, 1993).

Por otro lado de acuerdo al tipo de suelo, el número de microorganismos solubilizadores para el caso de los hongos varía de un 8.1 a un 57.9 % del total de la población fúngica en contraste con el 7.1 a 55.6% para las bacterias. (Nahas *et al.*, 1990, citados por NAHAS *et al.*, 1994).

2.4.1.1 Mecanismos de acción en la solubilización de P. En relación a los mecanismos por los cuales se realiza la solubilización del P, el más importante estaría dado por la producción de ácidos orgánicos por parte de los microorganismos o por las raíces de los vegetales (Gadd, 1999; Stevenson y Cole, 1999 citados por WHITELAW, 2000).

Esta producción de ácidos orgánicos por parte de hongos u otros microorganismos y de plantas, lograría una disminución del pH del medio o bien se formarían quelatos, con lo cual sería liberado el P de sus fuentes no disponibles (Albert y Serjeant, 1984 citados por WHITELAW, 2000).

Respecto a los quelatos, el mismo autor señala que la quelación de cationes ha mostrado ser un mecanismo importante para la solubilización de P cuando la estructura del ácido orgánico es favorable. Es así como ésta tendría mayor relevancia en aquellos casos en que la estructura de los ácidos orgánicos permita generar quelatos complejos estables con iones metálicos. (Fox, 1995; Gadd, 1999; Stevenson y Cole, 1999; Whitelaw, 2000, citados por BARRERA, 2002).

La extensión a la cual un ácido orgánico es capaz de formar una quelación de cationes metales es influenciada por su estructura molecular (Struthers and Sieling, 1950 citados por WHITELAW, 2000). Así por ejemplo, el calcio forma quelatos fuertes con ácido cítrico, menos fuertes con ácido málico y tartárico y ligeramente fuertes con ácido láctico (Florez, 1997 citado por BARRERA, 2002). Lo anterior concuerda con Johnston (1956) y Johnston y Miller (1959) citados por WHITELAW (2000) quienes describen la importancia de la estructuras de los ácidos, de sus grupos hidroxilos y carboxilos en la capacidad de solubilización de P, por lo que los ácidos tricarboxílicos formarían quelatos más fuertes que los dicarboxílicos o monobásicos.

Muchas investigaciones señalan que los ácidos orgánicos fueron capaces de solubilizar más P que ácidos inorgánicos al mismo pH con la diferencia presumida principalmente debido a la quelación (WHITELAW, 2000).

Algunos estudios realizados en medios líquidos compararon los cambios de pH en el medio y la solubilización de P por diferentes hongos; en muchos de

los cuales, la acidificación (es decir, la disminución del pH) fue un mayor mecanismo de solubilización de P. Así por ejemplo una alta solubilización estuvo a menudo asociada con un bajo pH en la solución final del cultivo y recíprocamente, baja solubilización estuvo a menudo asociada con un alto pH del medio (WHITELAW, 2000).

En algunos casos la solubilización de P inorgánico se ha reportado en ausencia de ácidos orgánicos, principalmente como resultado de la acidificación del medio (Asea *et al.*, 1988; Illmer y Schinner, 1995 citados por BARRERA, 2002), lo cual sería explicado por la excreción de protones desde el citoplasma de la superficie externa de la célula (Illmer y Schinner, 1995 citados por BARRERA, 2002).

Aunque es poco probable que los ácidos orgánicos producidos en la rizósfera permanezcan intactos por bastante tiempo para afectar la mayor parte de P liberado desde el suelo, es posible que la reducción de pH de la rizósfera y la complejación de cationes pudieran producir una efectiva solubilización de P microambientalmente, resultando en un aumento de este nutriente tomado por las raíces de las plantas (Kucey *et al.*, 1989 citados por WHITELAW, 2000).

2.4.2 Promoción en el crecimiento de plantas por hongos solubilizadores de fosfatos. La promoción del crecimiento y el incremento del P en las plantas inoculadas con hongos solubilizadores de P ha sido informado por muchos investigadores quienes han investigado la habilidad de los hongos solubilizadores, para promover la captación de P y el crecimiento de plantas en suelos bajo condiciones de invernadero. Bajo estas condiciones, los volúmenes arraigados son usualmente restringidos para que si la solubilización microbiana de P toma lugar, la respuesta de la planta puede ser superior que en los ensayos del campo (Kucey *et al.*, 1989 citados por WHITELAW, 2000).

Ejemplos de ensayos en suelos bajo invernadero, en los cuales el rendimiento y/o la captación de P fue aumentada por la inoculación de hongos solubilizadores de P en trigo, cebolla, sorgo y soya son citados por diversos autores (Gaur, 1972; Manjunath *et al.*, 1981, Salih *et al.*, 1989; Singh y Singh, 1983; Vaishya *et al.*, 1996; Whitelaw *et al.*, 1999 citados por WHITELAW, 2000). Es así, como este mismo autor indica, que trabajos en esta área pueden producir plantas inoculadas con hongos capaces de un funcionamiento más consistente sobre un rango de suelo y condiciones climáticas.

2.4.2.1 *Aspergillus niger* como solubilizador de fosfatos. *A.niger* es clasificado como un hongo de la División Ascomycota, perteneciente a la Familia *Trichocomaceae*. Posee una gran diversidad biológica reflejada por el número de especies. Una de sus características principales es su presencia cosmopolita en distintos ecosistemas, marinos, en el suelo, alimentos, entre otros (SAMSON y PITT, 2000).

La importancia de la actividad de los microorganismos en el ciclo del P se manifiesta por el alto contenido de este elemento en las estructuras microbianas; que en el caso de los hongos es el micelio el que contiene entre 0.5 y 1.0% y en las bacterias se encuentra entre un 1.5 y 2.5% de P por peso seco (Kaila, 1949; Mulder, *et al.*, 1966 citados por REYES, 1991b). Se señala que *A. niger* posee una acumulación de P en las estructuras vegetativas de 1.65% por peso seco (Beever y Burns, 1980 citados por REYES, 1991b).

Estudios han identificado la producción de ácidos orgánicos por *A. niger*, entre los cuales destaca el detectado por Illmer *et al.*, (1995) citados por BARRERA (2002), como ácido oxálico, cítrico (Rose, 1957; Sperber, 1958b; Venkateswarlu *et al.*, 1984; Illmer and Schinner, 1995a y Vassilev *et al.*, 1996 citados por WHITELAW, 2000). Además de ácido láctico y glucónico los cuales

fueron producidos en cantidades mayores (Berry, 1975 citado por WHITELAW, 2000).

Las fluctuaciones en el modelo de solubilización de P en el tiempo por *A.niger* consistieron en lograr un “peack” y luego descender al cabo de un tiempo (Nahas *et al.*, 1990 citados por NAHAS, 1994). Esto sería explicado por la formación y solubilización secundaria de complejos de P orgánico que podrían ser usados como energía o fuente de nutrientes que son requeridas por los hongos. (Illmer y Schinner, 1992 citados por WHITELAW, 2000).

Existen estudios en invernadero en los cuales se usaron soluciones de arena y nutrientes, inoculando olmo americano con *A.niger* quien fue capaz de incrementar el rendimiento y el P captado por 600 y 900%, respectivamente, en los cuales las plantas inoculadas fueron comparadas con plantas en medios estériles (WHITELAW, 2000).

De acuerdo a lo señalado por NAHAS *et al.*, (1994) quienes inocularon cepas de *A.niger*, no constataron efectos en la solubilización del P, debido probablemente a la interacción con otros microorganismos. Sin embargo Wahid y Mahana (2000) citados por BARRERA (2002) encontraron una marcada solubilización e incremento de P con la eficiencia del cultivo.

2.5 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos elaborados a partir de microorganismos de distinto tipo que una vez aplicados al suelo o a las plantas, a través de distintos mecanismos, realizan funciones de fertilización, a las cuales se les ha llamado fertilización biológica. Siendo postulados como puntales de la agricultura orgánica. Actualmente su producción comercial se ha

extendido considerablemente, existiendo una amplia gama de productos (SOCORRO Y PARETS, 2004).

2.5.1 Clasificación de biofertilizantes. Los biofertilizantes se clasifican en dos grupos: de acción directa y de acción indirecta. Con respecto a los primeros en estos se agrupan microorganismos que ya sea total (nódulos fijadores de nitrógeno) o parcialmente (micorrizas) habitan algún componente de los tejidos vegetales, y por ello la acción de la biofertilización se realiza en parte del vegetal y no en su medio circundante (SOCORRO Y PARETS., 2004). Los mismos autores se refieren a los biofertilizantes de acción indirecta, señalando que el producto de la biofertilización (nutrientes solubilizados, mejoramiento de la estructura del suelo) es aprovechado indirectamente por los cultivos, aunque estos pueden adicionalmente influir sobre los primeros.

2.6 Cultivo del tomate

A continuación se describen algunas de las principales características de este cultivo.

2.6.1 Características generales de la especie. El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), es una especie perteneciente a la familia *Solanaceae*. Planta originaria de América tropical y regiones andinas de América del Sur, extendiéndose desde Ecuador al norte de Chile (Bravo y Aldunate, 1986 citado por ARRIAGADA, 1997). Desde las regiones de origen probablemente fue llevado en épocas remotas hacia México, país que se tornó en el centro de domesticación y diversificación de las variedades cultivadas y desde este lugar fue introducido a Europa, siendo posteriormente propagada por todo el mundo (GIACONI y ESCAFF, 2001; RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999; WIEN, 1997).

En la actualidad, es una especie de gran y creciente importancia en el mundo, donde destacan China, India, Estados Unidos y Egipto, como los países de mayor superficie cultivada y, al mismo tiempo, como ejemplos de su amplia distribución actual (KRARUP y MOREIRA, 2003).

Es una de las plantas hortícolas de mayor importancia; proporcionando producto para el consumo fresco y para la industria. Siendo material ideal de investigación en todos sus aspectos básicos y agrícolas. Presenta un alto consumo per cápita, destacando por ser un fruto rico en vitaminas A y C (GIACONI y ESCAFF, 2001; RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999; WIEN, 1997).

Los principales tipos de tomates cultivados son: industrial, fresco tradicional ("heirloom"), fresco moderno, fresco invernadero, fresco larga vida, cereza o cocktail y especiales o novedosos. La variedad Cal-Ace pertenece al tipo fresco tradicional ("heirloom"); correspondiente a plantas de hábito indeterminado, de producción y maduración prolongada, con frutos grandes, de forma redonda, globosa o achatada, de color rojo, de muy alto sabor, más o menos blandos. Los cultivares de este tipo son de polinización abierta y de amplia adaptación. Actualmente permanecen o están teniendo un "renacimiento" en ciertos mercados nichos por su alto sabor típico (KRARUP y MOREIRA, 2003).

2.6.2 Características botánicas. El tomate principalmente se caracteriza por ser una planta herbácea, perenne, pero que se cultiva casi universalmente como una planta anual emitiendo raíces con facilidad a lo largo de su tallo, siendo susceptible a daño por heladas y por enfriamiento (KRARUP y MOREIRA, 2003; Bravo y Aldunate, 1986 citados por ARRIAGADA, 1997).

El sistema radical alcanza una profundidad de hasta 2 m, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias, en un radio de hasta 1,5 m, sin

embargo, bajo las condiciones más habituales de cultivo, el trasplante daña la raíz pivotante presentándose así una raíz principal corta y débil, con un sistema radicular secundario muy ramificado y potente en que, dominan raíces adventicias presentando generalmente un extenso sistema radicular, concentrándose un 85% en los primeros 30 cm del perfil y el resto dentro de los 60 cm (KRARUP y MOREIRA, 2003; RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999). El profundo sistema radicular provee a la planta alguna tolerancia a la sequía (RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999).

Los mismos autores señalan que las plantas crecen desde 0,5 a 2,0 m de alto, con tallos sólidos y gruesos. Según GIACONI y ESCAFF (2001), el crecimiento de las plantas de tomate puede ser de hábito determinado o indeterminado.

Existen variedades de periodo corto o precoces (90 a 110 días desde trasplante hasta recolección), de periodo intermedio (100 a 120 días) y de periodo largo o tardías (110 a 125 días) (GIACONI y ESCAFF, 2001).

2.6.3 Suelo. Se da bien en varios tipos de suelo, pero para su cultivo de preferencia se requieren aquellos que tengan un buen drenaje dada la delicadeza del tomate al exceso de agua (Corfo, 1986; Serrano, 1979 citados por SEVERINO, 1995; DOMINGUEZ, 1997; GIACONI y ESCAFF, 2001).

Se adapta mejor a suelos ligeramente ácidos, pero el tomate puede resistir condiciones alcalinas tales como pH 8,0, al igual que una acidez de hasta pH 5,0, pero con estos valores extremos ocurren problemas de disponibilidad de varios nutrientes, por lo cual se recomienda un suelo con un pH entre 5,5 y 6,5, siendo este rango el pH óptimo para el cultivo (DOMINGUEZ, 1997; Corfo, 1986 citado por SEVERINO, 1995; Thompson y Kelly, 1977 citados por BRADASIC, 1979).

2.6.3.1 Humedad del suelo. Los almácigos deben mantenerse permanentemente con buen nivel de humedad del suelo, evitando periodos de sequía o de excesos. Después de sembrado debe mantenerse constantemente un buen nivel de humedad mediante riegos, siendo mayor esta necesidad cuando se encuentra bajo invernadero (Krarup, 1982 citado por SEVERINO, 1995). Según Casseres (1980), citado por ARRIAGADA (1997), el exceso de humedad reduce la oxigenación del suelo y favorece la ocurrencia de enfermedades radiculares y foliares, pero por otro lado la falta de agua reduce el desarrollo radicular y el crecimiento de la planta, resultando una calidad inapropiada del producto y una reducción de la producción (Ferreira, 1987 citado por ARRIAGADA, 1997).

2.6.4 Clima. El tomate es una planta de estación calurosa, siendo sensible a las heladas (Casseres, 1971 citado por BRADASIC, 1979; GIACONI y ESCAFF, 2001). La época más temprana aconsejable para el cultivo de los almácigos es octubre y la época de trasplante noviembre, siendo esto variable de acuerdo a la localidad, dependiendo de las heladas. En Valdivia en el mes de noviembre ya no se presentarían heladas (Krarup, 1982 citado por SEVERINO, 1995)

2.6.4.1. Requerimientos de temperatura. Las plantas son propagadas por siembra directa en el campo o con trasplante (RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999). Cuando se siembran en almácigos, la temperatura del suelo entre 10 y 25°C, permite una germinación cercana al 100% y para el crecimiento adecuado de las raíces las temperaturas pueden variar entre 18°C y 27°C (GIACONI y ESCAFF, 2001; RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999; WIEN, 1997). El proceso de germinación es favorecido por la oscuridad y alternancia de temperaturas diurnas de 26°C y nocturnas de 20°C (Bravo y Aldunate, 1986 citados por MERINO, 1989)

GIACONI y ESCAFF (2001) señalan, que una vez que la plántula ha emergido, los requerimientos de temperaturas son menores que los de germinación. Es así que durante el crecimiento inicial, durante el día requiere temperaturas entre 15°C y 21°C y en la noche entre 14°C y 17°C (RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999). Sobre los 35°C prácticamente se detiene el crecimiento, mientras que las temperaturas inferiores o iguales a 0°C matan la plántula (Corfo, 1986; Merino, 1989 citados por SEVERINO, 1995).

2.6.5 Requerimientos de nutrientes. Según DOMINGUEZ (1997), la absorción de los elementos nutritivos es muy escasa durante los dos primeros meses, incrementándose notablemente a partir del primer cuajado de fruto. En el curso de las 4 o 5 últimas semanas, se absorbe entre el 60 y 70% de los elementos nutritivos.

El nitrógeno es muy importante para el crecimiento vegetativo y el que más influye en este aspecto. El P es también importante para el desarrollo temprano de la planta y la absorción de las raíces como también la floración. El potasio favorece un mayor crecimiento del fruto, un mejor color al estimular la síntesis del licopeno y mayor resistencia de los frutos. El calcio es importante para el desarrollo de la pared celular de los frutos (Corfo, 1986 citado por SEVERINO, 1995; GIACONI y ESCAFF, 2001 RUBATZKY y YAMAGUCHI, 1999).

2.6.6 Trasplante. El trasplante debe ser realizado cuando las plántulas presentan cuatro a cinco hojas definitivas o verdaderas y una altura de 10 a 12 cm. Se debe efectuar entre los 25 a 30 días después de la siembra (Casseres, 1980 citado por ARRIAGADA, 1997; Krarup, 1982 citado por SEVERINO, 1995).

2.6.7 Importancia del cultivo en Chile. El tomate es la principal hortaliza cultivada en el país y en el mundo; transformándose en Chile en el cultivo hortícola de mayor importancia económica tanto por la superficie destinada anualmente a su producción como por la alta rentabilidad que obtienen los productores. Chile tiene el mayor consumo per cápita a nivel sudamericano y prácticamente logra autoabastecerse de productos derivados de tomates. Las pocas importaciones son fundamentalmente productos industriales derivados de tomate (KRARUP y MOREIRA, 2003; CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA), 2003; ORMEÑO *et al*, 2003).

El cultivo se realiza desde la I a la XII región concentrándose en la V, VI y VII Región (Kogan y Traverso, 1992; García, 1993; Díaz y García, 1996 citados por ORMEÑO *et al.*, 2003). La forma de producción más común es el sistema de almácigo, del cual se obtienen plantas ya sea en el campo o utilizando sistemas especiales con contenedores. La producción en contenedores es usada por las personas que utilizan invernaderos o en la producción para temprano (Corfo, 1986 citado por SEVERINO, 1995).

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Materiales

A continuación se describen los distintos materiales empleados en la realización de este ensayo.

3.1.1 Biológico. Semillas de *Lycopersicon esculentum* Mill variedad CAL- ACE, correspondiente a tomate de tipo fresco tradicional, cuya siembra permitió la obtención de plántulas de esta especie.

Cepa control de *Aspergillus niger* Van Tieghem, proveniente del Centraalbureau voor Schimmelcultures de Baarn (CBS), Holanda y dos cepas de *A.niger* designadas como cepa I y cepa II conservadas en el cepario del Instituto de Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile.

3.1.2 Reactivos. Los reactivos utilizados en el periodo experimental, se presentan a continuación en orden alfabético y entre paréntesis la fórmula química a utilizar en el texto: acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N pH 7), ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), ácido bórico (H_3BO_3), ácido bórico (H_3BO_3 al 2%), ácido clorhídrico (HCl 1N), ácido clorhídrico (HCl 32%, $d = 1,16$ kg/L), ácido clorhídrico 2 mol/L (197 mL HCl 32%), ácido nítrico (HNO_3 69%, $d = 1,41$ kg/L), ácido nítrico 1,5 mol/L (97 MI HNO_3), ácido sulfúrico estandarizado (H_2SO_4 ,005 N), ácido sulfúrico (H_2SO_4 0,05 N), ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 conc), agar extracto malta 2% (AEM 2%), agua destilada, aleación devarda en polvo, bicarbonato de potasio (KHCO_3 .), carbonato de calcio (CaCO_3), carbón activado

libre de P, citrato de hierro ($C_6H_5O_7Fe \cdot x H_2O$ ($x=2-3H_2O$)), cloruro de calcio ($CaCl_2$), cloruro de cesio (ClCs), cloruro de cobalto hexahidratado ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$), cloruro de cobre dihidratado ($CuCl_2 \cdot 2H_2O$), cloruro de estroncio ($SrCl_2$), cloruro de magnesio hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), cloruro de manganeso tetrahidratado ($MnCl_2 \cdot 4 H_2O$), cloruro de potasio (KCl 1M), cloruro de potasio (2N), cloruro de zinc ($ZnCl_2$), dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$ 1N), etanol, fosfato dihidrógeno de potasio (KH_2PO_4), indicador ortofenantrolina, molibdato de amonio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}$), molibdato de amonio hidratado ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot H_2O$), heptamolibdato de amonio tetrahidratado ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$), nitrato de amonio (NH_4NO_3), óxido de magnesio (MgO), solución de bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$ 0,5M a pH 8,5; 42,01 g de $NaHCO_3$ en 1000 mL de agua destilada), solución indicadora verde bromocrisol más rojo de metilo, solución Olsen A (en base a $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$, $C_4H_4KO_7 Sb \cdot \frac{1}{2} H_2O$, H_2SO_4 conc, agua destilada), solución Olsen B (0,88 g de $C_6H_8O_6$ y 1000 mL de solución Olsen A), sulfato ferroso ($FeSO_4$ 0,5N), sulfato de potasio (K_2SO_4), sulfato de sodio ($Na_2 SO_4$), tartrato de antimonio y potasio ($C_4H_4KO_7 Sb \cdot \frac{1}{2} H_2O$) y vanadato de amonio (NH_4VO_3).

3.1.3 Equipos. Agitador orbital Karl Kolb, agitador Thermolyne Nuova Stir Plate, autoclave Orsa, balanza analítica Precisa 100A-300M, balanza digital Mettler Toledo PB1502-S, cámara de cultivo, destilador Labconco Rapidstill II, espectrofotómetros de absorción atómica GBC UV/VIS 916 y GBC 909 AA, estufa con aire forzado Heraeus, mufla Lindberg/blue, plancha calefactora Thermolyne type 2200 Hot Plate, pH-metro model 05669-20 Cole Parmer.

3.1.4 Otros. Asa de siembra, bolsas de papel y polietileno, crisoles de porcelana (30 mL), embudos, fertilizantes (roca fosfórica Carolina del Norte (RFCN), superfosfato triple (SFT), solución nutritiva), filtros lentos, frascos plásticos, frascos de vidrio ámbar, lápices marcadores, matraces aforados (25,50,100, 1000 mL), matraces Erlenmeyer (125, 250 mL), matraces Kjeldahl

(100 mL), maceteros plásticos de diámetro 20 cm y altura 21 cm, mecheros, mortero, pala, pala jardinera, papel filtro Wathmann n°4 y n°5, pipetas automáticas, pipetas volumétricas de 1,2,5,10 y 50 mL, placas Petri, porta embudo, portaobjetos, probetas, regla de 30 cm, tamices (2mm), suelo, toalla de papel, vasos precipitados.

3.2 Método

A continuación se describe la metodología aplicada para la realización del ensayo.

3.2.1 Ubicación y duración del ensayo. El ensayo en una primera etapa fue establecido en el Invernadero del Instituto de Botánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile, desde el día 23 de enero al 25 de febrero del año 2004. Al término de ésta se llevó a cabo una segunda etapa que finalizó el mes de abril del año 2004, correspondiente a análisis químicos desarrollados en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos (IIAS) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.

3.2.2 Características del suelo. El suelo utilizado para el desarrollo del experimento se recolectó en un sitio que no presenta actividad agrícola actual y está ubicado en el radio urbano de la ciudad de Valdivia, específicamente en la intersección de Avenida Francia con René Schneider. La muestra de suelo fue tomada a 20 cm de profundidad y se recolectaron 150 kg de suelo.

Este suelo pertenece a la Serie Valdivia, que en general son suelos que poseen bajos niveles de elementos nutritivos, los que se hacen extremadamente bajos en profundidad, con niveles de P aprovechable que son extremadamente bajos en superficie, situación que se agudiza en profundidad

por aumento de la capacidad de fijación de este elemento, por lo tanto en los suelos de esta serie se esperan respuestas extremadamente altas a los fertilizantes fosfatados (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES (IREN), 1978). La descripción de este suelo se ajustó a la característica requerida para la ejecución del ensayo.

3.2.2.1 Procesamiento del suelo. El suelo recolectado fue llevado a la Estación Experimental Santa Rosa de la Universidad Austral de Chile, en donde se tamizó y retiró restos vegetales y piedras.

Posteriormente la cantidad de suelo requerida fue llevada al Laboratorio de Suelos de la Universidad Austral de Chile, en donde se sometió a secado a aproximadamente 30°C por dos días, luego se sacaron muestras que se homogeneizaron para efectuar un análisis químico previo al ensayo para determinar los niveles de fósforo disponible y pH, a través de los siguientes métodos:

-P disponible: se utilizó el método P Olsen, el cual consiste en la extracción de P de una muestra de suelo con una solución de NaHCO_3 0,5 M pH 8,5 (relación suelo/solución 1:20), para lo cual se pesaron 2,5 g de suelo seco tamizado a 2 mm, agregando 0,3 de carbón activado y 50 mL de NaHCO_3 0,5 M pH 8,5. Posteriormente se agitaron las muestras por 30 minutos y a continuación fueron filtradas. Del filtrado se tomaron 5 mL de alícuota para luego ser depositados en matraces aforados de 50 mL, agregando 20 mL de solución Olsen B, se aforó con agua destilada y luego se agitó. Transcurrida una hora se procedió a leer en un espectrofotómetro GBC UV/VIS 916 a una longitud de onda de 880 nm.

-Acidez (pH), se realizó una medición potenciométrica en agua (1:2,5); se pesaron 10 g suelo a lo cual se agregó 25 mL de agua destilada Posteriormente las muestras fueron agitadas manualmente cada 15 minutos por tres veces

durante 30 minutos. Luego se dejó decantar por una hora y se midió en un pHmetro.

Las metodologías de los análisis químicos realizados se describen según lo señalado por SADZAWKA *et al.*, (2000).

Se realizó también, la determinación del contenido de humedad del suelo; para lo cual se tomó una muestra de suelo húmedo de peso conocido, la que fue llevada a una estufa por 48 horas a 105°C obteniendo el peso seco. Finalmente fue calculado el porcentaje de humedad base suelo seco (Bss), determinándose un 31,6% de humedad Bss. Se determinó que el equivalente a 4 kg de suelo húmedo correspondía a 2,73 kg de suelo seco, cantidad de suelo que fue base para calcular las dosis aplicadas de los fertilizantes empleados.

3.2.2.1.1 Esterilización de muestras de suelo. De un total de 96 kg de suelo que se requirió; una fracción equivalente a 72 kg; fue sometida a esterilización en autoclave, por 45 minutos a 121°C y una atmósfera de presión (Ciclo Opicci); siendo para ello llevada al Instituto de Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile. Los 72 kg de suelo fueron divididos en dosis de 4 kg, que se depositaron individualmente dentro de triple bolsa plástica.

3.2.3 Masificación de cepas fúngicas. En el Instituto de Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile, se procedió a masificar cada una las cepas de *A. niger* utilizadas (I, II y control). Cada cepa fue cultivada por triplicado e individualmente en placas Petri que contenían AEM 2%. Las placas sembradas se incubaron a 23°C durante 5 días. Al quinto día, se realizaron preparaciones de cada una de las placas sembradas para determinar la cantidad de propágulos (esporas e hifas). Se determinó que cada placa contenía 10^2 propágulos; cantidad que se usó para inocular 1 g de RFCN.

3.2.4 Fuentes de fertilización. Se emplearon en este ensayo las fuentes de fertilización fosforada: roca fosfórica Carolina del Norte, roca fosfórica Carolina del Norte inoculada con cepas de *A.niger* y superfosfato triple. En base a la aplicación de una dosis mínima de 50 ppm de P (50 mg P/ kg de suelo seco) se calcularon las dosis de ambas fuentes, obteniéndose exactamente 0,39 g de RFCN/kg suelo seco y 0,25 g SFT/kg suelo seco, aplicados antes de la siembra. Ambas dosis difieren puesto que en el cálculo respectivo se incluye el contenido de P_2O_5 que presenta cada uno de los fertilizantes, determinándose un 29.5% para RFCN y un 46% para SFT.

Además para favorecer el crecimiento del cultivo de tomate se adicionó directamente al suelo una solución nutritiva en la mínima dosis, sin entrega del óptimo y sin la inclusión de una fuente fosforada. Estas soluciones corresponden a las utilizadas por el Plant Nutrition Group del Centro Experimental Ruakura (Ag. Research), en Nueva Zelanda según ANWANDTER (2003). Las soluciones se detallan a continuación:

- Solución A de macronutrientes sin P: 4,44 g de K_2SO_4 y 12 g de $KHCO_3$ diluidos en 2 L de agua destilada.
- Solución B de macronutrientes: 4,04 g de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, 1,02 g de $CaCO_3$, 3,11 g de Na_2SO_4 y 20 ml de HCl (1N), diluidos en 2 L de agua destilada.
- Solución de micronutrientes: 0,03 g de H_3BO_3 , 0,004 g de $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 0,01 g de $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, 0,2 g de $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 0,004 g de $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot xH_2O$ y 0,015 g de $ZnCl_2$ diluidos en 1 L de agua destilada.
- Solución de nitrógeno: 120 g de NH_4NO_3 diluidos en 4,5 L de agua destilada.
- Solución de citrato de hierro: 0,0585 g de citrato de hierro diluidos en 1 L de agua destilada.

Se prepararon individualmente, 4 L de la solución A y de la B como también de la solución de nitrógeno y 1 L de cada una de las soluciones restantes. Todas las soluciones se llevaron a diluir en 82 L de agua para la

aplicación dos veces por semana de 273 mL a cada macetero, durante el periodo que duró el ensayo.

3.2.5 Establecimiento del ensayo. Previo al establecimiento del ensayo en el invernadero, se realizó una prueba de germinación para determinar la semilla de tomate a utilizar. En el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile; se evaluó la germinación de 100 semillas de distintas variedades de tomate durante 12 días. Obteniendo el mayor porcentaje de germinación correspondiente a un 90% para la variedad CAL-ACE, siendo esta la utilizada para la obtención de plántulas de tomate para el ensayo.

3.2.5.1 Preparación del suelo para la siembra. La cantidad de suelo húmedo (4kg) especificada para cada macetero plástico en condición estéril o no estéril según correspondía, fue mezclado con la cepa fúngica o el fertilizante fosforado establecido. Finalmente se obtuvieron las siguientes mezclas para el ensayo:

- Suelo con RFCN inoculada con cepa fúngica: al suelo en condición estéril se le incorporó una dosis de 50 ppm de P/kg suelo seco, pero en su equivalente a 1,068 g de RFCN inoculados con 10^2 propágulos de cepa fúngica de *A. niger* por gramo de RFCN. La mezcla se realizó con una pala pequeña de jardinería.
- Suelo con SFT: este sustrato se preparó en condición de suelo estéril y no estéril, mezclando el suelo con una dosis de SFT de 0,684 g, calculada en base a una aplicación de 50 ppm de P, incorporados al suelo con la pala jardinera.
- Suelo con RFCN: para la obtención de este sustrato se incorporó al suelo estéril la dosis de 1,068 g de RFCN.
- Suelo: corresponde a suelo en condición estéril y no estéril, sin la aplicación de cepa fúngica o fertilizantes; solo solución nutritiva.

Realizada las mezclas en un total de 24 maceteros, se procedió a la siembra de las semillas *L. esculentum* var CAL- ACE, desinfectadas el día de la

siembra en una solución de hipoclorito de sodio (50 en 500 mL de agua destilada - 10% producto comercial), durante 5 minutos.

A los 30 días cumplidos desde cada siembra, se efectuó la cosecha los días 23, 24 y 25 de febrero del año 2004. Cada día se cosechó el material vegetal de ocho maceteros, presentándose cada uno de los tratamientos por triplicado.

En cada macetero fueron sembradas 25 semillas de tomate; cumpliendo de esta forma con lo señalado por GIACONI y ESCAFF (2001), quienes recomiendan una densidad de siembra de 600 plántulas / m² para almácigo. Las semillas se depositaron en orificios de aproximadamente 1 cm de profundidad que fueron posteriormente tapados con el mismo sustrato.

El riego aplicado durante los días que duró el ensayo, consistió en la aplicación de agua y solución nutritiva. Con respecto a esta última se aplicaron 5 riegos semanales de 110 mL que era equivalente a las 2 dosis semanales de solución nutritiva de 273 mL anteriormente especificadas. En conjunto también se aplicaba agua. Se tuvo como criterio de riego solo la apreciación visual de la humedad del sustrato, manteniendo constantemente húmeda la superficie del mismo.

Durante el periodo que duró el ensayo se mantuvo ventilado el lugar, solo manipulando las ventanas del invernadero.

3.3 Evaluaciones en el suelo

Estas evaluaciones se realizaron en días posteriores a la cosecha, tomando muestras de aproximadamente 250 g del sustrato de cada uno de los

maceteros correspondientes a cada tratamiento y repetición. Cada muestra se depositó en bolsas plásticas para medir los siguientes parámetros:

3.3.1 Fósforo. Evaluación realizada por tratamiento y repetición, a través del método P-Olsen, encontrado en detalle en el punto 3.2.2.1.

3.3.2 pH. La determinación del pH se realizó tras una medición potenciométrica en agua por tratamiento y repetición, método descrito en detalle en el subcapítulo 3.2.2.1.

Las evaluaciones mencionadas se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.

3.4 Evaluaciones en el material vegetal

A continuación se indican las evaluaciones realizadas al material vegetal en este ensayo.

3.4.1 Porcentaje de emergencia de las plántulas. Fue la primera evaluación realizada y se llevó a cabo a los 10 días posteriores a la siembra y correspondió a la determinación del porcentaje de emergencia del total de 600 plántulas establecidas al inicio del ensayo.

3.4.2 Porcentaje de sobrevivencia. Esta evaluación fue realizada a los 30 días cumplidos desde la siembra, previo a cosechar las plántulas.

3.4.3 Largo radical. Con precaución para evitar la ruptura de las raíces se extrajeron 45 plántulas de tomate por cada tratamiento, es decir, 15 plántulas

por macetero y se determinó el largo radical con una regla. Los resultados obtenidos se expresaron en centímetros (cm).

3.4.4 Altura de la plántula. Medición que fue realizada a 45 plántulas por tratamiento a los 30 días. Fue medida desde el comienzo del tallo (sobre la raíz) hasta el ápice de la hoja usando una regla. Los resultados se expresaron en cm.

3.4.5 Largo total de la plántula. Consideró la medición del largo radicular más la altura de un total de 360 plántulas obtenidas a los 30 días. La medición fue expresada en cm.

3.4.6 Número de hojas por plántula. Fue determinada a los 30 días postsiembra, solo una vez que las 45 plántulas por tratamiento estuvieron cosechadas.

3.4.7 Peso fresco de las plántulas. Llevadas a cabo todas las mediciones señaladas anteriormente, el material cosechado, separado según tratamiento y repetición fue lavado en un vaso precipitado con 100 mL de agua corriente por tres veces y posteriormente con 200 mL de agua destilada. El exceso de agua se retiró con un papel absorbente. Se registró el peso fresco en una balanza digital, expresando la medición en gramos (g).

3.4.8 Peso seco de las plántulas. Para efectuar esta evaluación, las plántulas lavadas y pesadas se depositaron en bolsas de papel para ser secadas en una estufa a 60°C por 48 horas, siempre por tratamiento y repetición. Cumplido el proceso se molieron las muestras en un crisol con ayuda de un mortero, siendo así pesadas en una balanza analítica, determinando finalmente el peso del material seco, expresando la medición en g.

3.4.9 Concentración de P en las plántulas. Se evaluó la concentración de P- proveniente de las fuentes fosforadas aplicadas- de las plántulas una vez que el material vegetal estuvo seco y molido.

Para lo anterior, el material vegetal seco y molido e identificado por tratamiento y repetición fue depositado en un crisol y se efectuó una calcinación a 500°C en una mufla (temperatura que se alcanzó a las dos horas y a la cual se mantuvo el material por un tiempo total de cuatro horas). Transcurrido ese periodo se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente para agregar 1-2 mL de agua y luego 10 mL de HCl 2 mol/L. Posteriormente las muestras se llevaron a una plancha calefactora y luego fueron enfriadas para depositar el contenido del crisol sobre papel filtro contenido en un embudo, recibiendo el filtrado en un matraz de aforo de 25 mL. De este filtrado al igual que de una serie de soluciones estándares se tomó una alícuota de 1 mL. Se agregaron también 4 mL de la solución nitro-vanado-molíbdcico, siendo todo mezclado y dejando reposar una hora. En el extracto obtenido tras la solubilización efectuada, se determinó el contenido de P por lectura colorimétrica en espectrofotómetro GBC UV/VIS 916 utilizando la curva de lectura azul a 880 nm a través del complejo fosfovanado-molíbdcico siempre por tratamiento y repetición (SADZAWKA *et al*, 2001). La medición fue expresada en porcentaje de P (% de P).

3.4.10 Absorción de P por las plántulas. Obtenidos los valores de peso seco y concentración se estimó la absorción de P por las plántulas por tratamiento y repetición expresada en miligramos de fósforo (mg P).

3.5 Diseño experimental y estadístico

El diseño experimental propuesto fue de bloques completos al azar con 8 tratamientos y 3 repeticiones cada uno, considerando un periodo de 30 días.

Por lo tanto el ensayo correspondió a 3 bloques con 8 tratamientos cada uno. Cada bloque se estableció por diferencia de un día en un lugar determinado y asignado en el invernadero. En el Cuadro 5 se especifican los tratamientos que componen el diseño experimental del ensayo.

CUADRO 5 Tratamientos para el cultivo de plántulas de tomate.

Sigla	Tratamientos	Días de Evaluación	
		10	30
Controles			
T1	Suelo no estéril + cultivo de tomate*	**	***
T2	Suelo estéril + *	**	***
T3	Suelo estéril + RFCN+ *	**	***
T4	Suelo estéril + RFCN+ <i>A. niger</i> control+ *	**	***
T5	Suelo no estéril + SFT+ *	**	***
T6	Suelo estéril + SFT+ *	**	***
Ensayos			
T7	Suelo estéril + RFCN+ <i>A. niger</i> I + *	**	***
T8	Suelo estéril + RFCN + <i>A. niger</i> II + *	**	***

* Cultivo de tomate ** Evaluación de emergencia de plántulas *** Evaluación de largo radicular, altura de la plántula, largo total de la plántula, número de hojas por plántula, porcentaje de sobrevivencia, concentración de P en las plántulas, P disponible y pH en el suelo.

El análisis estadístico al cual se sometieron los resultados obtenidos de todas las evaluaciones realizadas sobre las plántulas y los sustratos fue un Análisis de Varianza (ANDEVA).

Se realizó una comparación entre los promedios de los tratamientos a través del test de comparaciones múltiples de Tukey, considerando un 5% de significancia determinando probables diferencias significativas entre los tratamientos.

Fue necesario determinar la homogeneidad de varianza y probar que existía distribución normal de los tratamientos para así proceder a evaluar estadísticamente las variables.

Los supuestos especificados en el párrafo precedente y los análisis estadísticos efectuados a los datos obtenidos de las evaluaciones que se llevaron a cabo, se realizaron por medio del programa estadístico computacional Statgraphics Plus versión 2.0.

Cuando alguna variable no cumplió con los supuestos señalados, se efectuó una transformación de los datos utilizando la transformación logarítmica (Log 10) o la transformación de la raíz cuadrada.

4 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados y discusión de las condiciones iniciales y finales del suelo considerando niveles de fósforo disponible y pH. El efecto en la producción de materia fresca y seca, concentración y absorción de fósforo de los tejidos y la respuesta en variables de crecimiento por plántulas de tomate, transcurridos 30 días en almácigo.

4.1 Roca fosfórica Carolina del Norte tratada con cepas fúngicas y su efecto sobre dos características químicas generales del suelo

Con el objetivo de evaluar el efecto provocado por la roca fosfórica Carolina del Norte inoculada con las cepas *A.niger* I y II, sobre algunas características químicas y de fertilidad del suelo; se procedió a determinar el nivel final de fósforo disponible y el valor final de pH del suelo con y sin aplicación de fuentes fosforadas para el establecimiento de las plántulas de tomate a los 30 días.

4.1.1 Evaluación del fósforo disponible y pH en agua (1:2,5) del suelo tratado y no tratado con roca fosfórica Carolina del Norte y cepas fúngicas. El fósforo disponible (P Olsen) evaluado (Cuadro 6), estadísticamente no presentó diferencia significativa entre los valores encontrados al final del ensayo, respecto al muestreo inicial en el suelo. Sin embargo, se observó una disminución del nivel inicial de P-Olsen en los tratamientos donde no se aplicó fuente fosforada, que está asociado en parte a la absorción del cultivo y a las diversas reacciones del fósforo con el suelo durante el tiempo que duró el ensayo. También se observó un aumento numérico promedio de 1,75 ppm del P Olsen residual en los tratamientos en

que se aplicó superfosfato triple (SFT), lo que se explica por la adición de un fertilizante fosforado soluble que presenta una mayor disponibilidad de fósforo en el tiempo (BONOMELLI *et al.* 2003). Aún así, el método de análisis utilizado puede no haber detectado un efecto estadísticamente significativo a pesar de las variaciones numéricas de fósforo aprovechable entre las muestras.

La aplicación de superfosfato triple al suelo en condiciones estéril y no estéril, afectó la disponibilidad de fósforo significativamente, ya que al comparar con los tratamientos suelo no estéril y estéril con cultivo, se observó diferencia en el P Olsen final, debido a que no hubo adición de fósforo al sistema, por lo que el nivel decreció. Con la aplicación de SFT aumentó significativamente el P Olsen, respecto a la no adición de fertilizante fosforado en promedio 2,8 ppm, así como también fertilizando con roca fosfórica Carolina del Norte (RFCN) aunque no significativamente, mostrando un aumento en promedio de 0,95 ppm, lo que implica que la relación de lo aumentado en P Olsen desde la RFCN con respecto al SFT fue de 38 %, lo que es mayor a lo obtenido en praderas donde se encontró valores equivalentes de aproximadamente 30%, en un estudio realizado por PINOCHET *et al.*, 1996, comparando roca con SFT. Lo que indicaría solubilización o disponibilidad de fósforo desde la roca bajo las condiciones experimentales, debida en parte al pH del suelo y no a la acción de las cepas fúngicas I y II.

CUADRO 6 Fósforo disponible final (ppm de P-Olsen) y pH en agua final (1:2,5) para los distintos tratamientos donde se cultivaron las plántulas de tomate

Tratamiento	Fósforo (ppm)	pH
T ₀ : Valor inicial	3,1 ab	5,2 c
T1:Suelo no estéril+cultivo de tomate**	2,1 a	4,9 a
T2:Suelo estéril+**	2,0 a	5,0 ab
T3:Suelo estéril+RFCN+**	3,5 ab	5,0 ab
T4:Suelo estéril+RFCN+A. <i>niger</i> control+**	2,5 a	5,1 bc
T5:Suelo no estéril+SFT+**	4,9 b	5,0 ab
T6:Suelo estéril+SFT+**	4,8 b	5,1 bc
T7:Suelo estéril+RFCN+A. <i>niger</i> I+**	3,2 ab	5,1 bc
T8:Suelo estéril+RFCN+A. <i>niger</i> II+**	3,6 ab	5,1 bc

* Promedios con letras distintas en la columna son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

** Cultivo de tomate T:Tratamiento RFCN: Roca fosfórica Carolina del Norte SFT: Superfosfato triple

Respecto a la esterilización del suelo, en el Cuadro 6 se observa que no provocó diferencia significativa sobre la disponibilidad de P Olsen, puesto que al comparar los tratamientos sin adición de fertilizante y con aplicación de SFT en condición no estéril y estéril, se presentaron valores de P Olsen estadísticamente similares, por lo que no se podría atribuir un efecto de la actividad microbial del suelo, sobre la solubilización de la RFCN en este ensayo.

La adición de las cepas *A.niger* I y II, no causó aumento significativo sobre el nivel de P Olsen al final del ensayo. Existió un aumento numérico, ligeramente mayor con respecto al muestreo inicial. Por otro lado, el efecto residual dado por la aplicación de *A.niger* I y II no logró diferenciarse del producido al aplicar otras fuentes fosforadas (RFCN y SFT), pero numéricamente se ubicaron en una posición intermedia, lo que

estadísticamente no pudo diferenciarse debido a que no se habría detectado metodológicamente, ya que el error estándar del muestreo a través del método P Olsen es de ± 1 ppm (SADZAWKA *et al.*, 2000). Antecedentes de un estudio realizado por NAHAS *et al.*, (1994), son comparables a los resultados de este ensayo, puesto que los mayores valores de fósforo disponible fueron encontrados en los tratamientos adicionados con roca fosfórica y específicamente cuando se adicionó al suelo con *A.niger*, seguidos de los resultados de la fertilización con superfosfato triple y los tratamientos controles sin adición de fuente fosfatada. Aún así, WHITELAW (2000), señala que los beneficios de la inoculación con hongos solubilizadores de fósforo son relativos, ya que se ha observado tanto disminución como aumento del fósforo disponible del suelo, lo que se debe a que existen otros factores involucrados en el grado de solubilización de fósforo realizada por los hongos en el suelo.

NARSIAN *et al.* (1995) y WHITELAW *et al.* (1999), indican la importancia de monitorear la solubilización de fósforo microbial a intervalos regulares durante el periodo de incubación completo. Estudios en que la concentración de fósforo soluble es determinada a tiempos específicos y no a lo largo de todo el periodo de incubación pueden no indicar la correcta cantidad máxima de solubilización de fósforo, lo cual no fue realizado en este estudio, pudiendo ser razón de no haber encontrado niveles significativos de fósforo debido a la acción de las cepas sobre la roca fosfórica.

Dentro de los factores más relevantes de la solubilización de la RFCN en el suelo se encuentra el pH, cuyos resultados fueron medidos en agua (1:2,5) transcurridos 30 días, los cuales se muestran en el Cuadro 6, además del nivel inicial.

Finalizado el ensayo el pH del suelo disminuyó significativamente respecto al nivel inicial que presentaba, observando una disminución promedio de 0,25 unidades sin la adición de fertilizantes fosforados (Cuadro 6), pudiendo

atribuir esta acidificación al tiempo que duró el experimento y durante el cual el cultivo realizó procesos de extracción desde el suelo

También se observa que las cepas *A.niger* I, II y control no causaron una acidificación significativa respecto del pH inicial, pero si existió una disminución en términos numéricos en promedio de solo 0,1 unidades de pH. Así como tampoco lograron un aumento significativo del P disponible. Por lo general en todos los estudios de solubilización de fosfatos por microorganismos se encontró que una alta solubilización de fósforo estuvo a menudo asociada con un bajo pH en la solución final del medio de cultivo; tendencia que en parte se reflejaría cuando se aplicó superfosfato triple al suelo no estéril; y recíprocamente, baja solubilización de fósforo estuvo a menudo asociada con un alto pH en la solución de cultivo. BARRERA (2002), encontró que durante 60 días de incubación en medio líquido, *Aspergillus niger* I, II y control fueron las únicas cepas que solubilizaron fósforo significativamente, disminuyendo también el pH de los medios de cultivo, siendo los más bajos registrados, situación que se contrapone con los resultados obtenidos en este experimento. Sin embargo WHITELAW (2000), indica que aún existe controversia sobre si efectivamente hay un aumento o disminución del pH en función de la solubilidad del fósforo en el suelo por microorganismos, lo que indicaría según Bardiya y Gaur (1974) citados por WHITELAW 2000, que la solubilización fúngica de fósforo dependería de varios factores entre los cuales destaca el tipo de ácidos orgánicos excretados.

4.2 Roca fosfórica Carolina del Norte tratada con cepas fúngicas y su efecto en la emergencia y sobrevivencia de plántulas de tomate

La evaluación de la sobrevivencia de las plantas emergidas es determinante en conocer si el hongo no afectó a las plántulas en forma patógena. Como se observa en el Cuadro 7, independiente del tratamiento dado al suelo para el cultivo de plántulas de tomate, no se registraron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de emergencia y sobrevivencia. Es decir, no hubo efecto de los tratamientos sobre estas variables. Sin embargo, en términos numéricos, el menor porcentaje de emergencia y sobrevivencia encontrado en este ensayo, se presentó en las plántulas de suelo estéril sin aplicación de fertilizante fosforado. Este resultado es similar al obtenido por ILLMER y SCHINNER (1995), quienes mostraron que es mejor utilizar suelo no estéril para establecer las plántulas controles (no inoculadas) y asegurar que así tengan una nutrición adecuada ya que la esterilización afecta la disponibilidad de los nutrientes.

CUADRO 7 Porcentaje de emergencia y sobrevivencia de plántulas de tomate bajo distintos tratamientos

Tratamiento	Porcentaje de Emergencia	Porcentaje de sobrevivencia
T1:Suelo no estéril+cultivo de tomate**	86,7 a	90,0 a
T2:Suelo estéril+**	68,0 a	75,0 a
T3:Suelo estéril+RFCN+**	69,3 a	80,0 a
T4:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> control+**	94,7 a	83,3 a
T5:Suelo no estéril+SFT+**	88,0 a	93,3 a
T6:Suelo estéril+SFT+**	90,7 a	83,3 a
T7:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> I+**	94,7 a	86,6 a
T8:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> II+**	92,0 a	88,3 a

* Promedios con letras distintas en la columna son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

** Cultivo de tomate T:Tratamiento RFCN: Roca fosfórica Carolina del Norte SFT: Superfosfato triple

En ninguno de los tratamientos se presentó un 100% de emergencia y sobrevivencia, lo cual podría estar vinculado a que el porcentaje de germinación obtenido por la semilla de tomate, en condiciones de laboratorio tras una prueba de germinación realizada a 100 semillas, fue solo de un 90%. Es posible que en este aspecto haya influido la edad de la semilla, puesto que la utilizada en este estudio presentaba data del año 2001. Respecto a esto, KRARUP y MOREIRA (2003) señalan que la facultad germinativa de las semillas hortícolas se deteriora gravemente, en general, después de los dos a tres años de edad; el ideal es que sea semilla del año o a lo más del año anterior.

De lo anterior se deduce que no se produjo un efecto de los tratamientos sobre la emergencia y sobrevivencia, puesto que en todos los sustratos utilizados se presentaron plántulas sanas, sin síntomas de deficiencia de algún nutriente o de enfermedad, lo que además indicaría que las cepas de *A.niger* I y

II utilizadas, tanto en la forma y dosis aplicada no causaron daño a las plántulas en esta etapa.

4.3 Evaluación del peso fresco y seco, concentración de fósforo y absorción de fósforo en plántulas de tomate tras su cultivo en suelo tratado y no tratado con Roca fosfórica Carolina del Norte y cepas fúngicas

Como se observa en el Cuadro 8 existió diferencia estadísticamente significativa entre los distintos tratamientos sobre la materia seca, con una tendencia similar encontrada para materia fresca. Así, el rendimiento varió entre 0,85 y 5,85 g para peso fresco y entre 0,3503 y 0,0619 g para peso seco, valores que muestran un aumento significativo en la producción de materia fresca y materia seca debido a la aplicación de una fuente fosforada soluble. Es por ello que los tratamientos comparables entre suelo estéril con superfosfato triple y con cultivo y suelo estéril con cultivo fueron estadísticamente diferentes debido a la adición de fósforo. Al comparar los mismos tratamientos pero en condiciones no estériles tanto para peso fresco y peso seco no existió diferencia estadística, es decir, la aplicación de fósforo al suelo bajo estas condiciones no causó efecto sobre el rendimiento.

La aplicación de roca fosfórica inoculada con las cepas fúngicas no causó un aumento significativo en la producción de materia seca y fresca respecto al adicionar o no al suelo otra fuente fosforada, lo cual difiere de otros ensayos realizados bajo condiciones de invernadero, en los cuales los rendimientos de trigo, cebolla, sorgo y soya fueron aumentados por la inoculación con hongos solubilizadores de fósforo (Gaur, 1972; Manjunath *et al.*, 1981, Salih *et al.*, 1989; Singh y Singh, 1983; Vaishya *et al.*, 1996; Whitelaw *et al.*, 1999 citados por WHITELAW 2000). Si bien es cierto, estadísticamente no se produjo diferencia, si se observó en términos numéricos una tendencia a posicionar intermedicamente los tratamientos con roca fosfórica y *A.niger*, ya que

se ubicaron sobre los controles sin fósforo, pero en niveles inferiores a los cuales se adicionó superfosfato triple. Al respecto, en un estudio realizado por NAHAS *et al.*, (1994) donde una de las comparaciones fue detectar el efecto de la inoculación de *A.niger* como solubilizador de roca fosfórica y la aplicación de un fosfato soluble como superfosfato triple sobre la producción del cultivo de maíz en un periodo de 70 días, se encontró una tendencia similar a la de este experimento, puesto que ellos concluyeron que tanto el superfosfato triple como la roca fosfórica proporcionaron similares producciones de materia seca por el cultivo, pero en niveles superiores al control, es decir donde no se aplicó fuente fosforada.

Al analizar la concentración de fósforo en la materia seca (Cuadro 8) se observó que hubo diferencia estadísticamente entre los distintos tratamientos. Así, las concentraciones de fósforo más altas en el material vegetal se encontraron al adicionar superfosfato triple al suelo con niveles que variaron entre 0,29% y 0,30% y que fueron superiores estadísticamente a la menor concentración encontrada que fue de 0,12% cuando no se adicionó fuente fosforada al suelo, por lo que la incorporación de esta última al suelo causó un efecto sobre la concentración de fósforo. Los valores más altos de concentración de fósforo corresponden con los mayores rendimientos en materia verde y seca en los mismos tratamientos, tendencia que no coincide al comparar la menor concentración de fósforo respecto al menor rendimiento encontrado.

CUADRO 8 Peso fresco, peso seco, concentración de fósforo (% de P) y absorción de fósforo (mg de P) en plántulas de tomate desde los distintos tratamientos

Tratamiento	Peso fresco/macetero (g)*		Peso seco/macetero (g)*	
T1:Suelo no estéril+cultivo de tomate**	2,01	ab	0,1154	ab
T2:Suelo estéril+**	0,85	a	0,0619	a
T3:Suelo estéril+RFCN+**	1,35	ab	0,0838	a
T4:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> control+**	1,10	ab	0,0805	ab
T5:Suelo no estéril+SFT+**	4,27	b	0,2252	ab
T6:Suelo estéril+SFT+**	5,85	b	0,3503	b
T7:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> I+**	3,93	ab	0,2511	ab
T8:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> II+**	3,29	ab	0,2180	ab

Tratamiento	Concentración de P (%P)		Absorción de P (mg P/macetero)	
T1:Suelo no estéril+cultivo de tomate**	0,12	a	0,138	a
T2:Suelo estéril+**	0,23	ab	0,142	a
T3:Suelo estéril+RFCN+**	0,22	ab	0,184	a
T4:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> control+**	0,19	ab	0,153	a
T5:Suelo no estéril+SFT+**	0,29	b	0,652	ab
T6:Suelo estéril+SFT+**	0,30	b	1,051	b
T7:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> I+**	0,16	ab	0,402	ab
T8:Suelo estéril+RFCN+ <i>A.niger</i> II+**	0,14	ab	0,305	ab

* Promedios con letras distintas en la columna son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

** Cultivo de tomate T:Tratamiento RFCN: Roca fosfórica Carolina del Norte SFT: Superfosfato triple

La adición de fósforo al suelo en condición no estéril, dado por la aplicación de superfosfato triple causó un efecto sobre la concentración de fósforo en los tejidos respecto a no aplicar fuente fosforada al suelo en la misma condición, reflejado en un aumento significativo de la variable en cuestión, que

no existió respecto a los otros tratamientos donde se cultivaron las plántulas de tomate. Aún así, las concentraciones de fósforo encontradas en la materia seca producida por las plántulas de tomate durante 30 días en los distintos tratamientos aplicados, son muy similares a las señaladas por TAIZ y ZEIGER (1991), quienes indican que un 0,2 % es una concentración adecuada de fósforo en el tejido seco de las plantas. Las concentraciones obtenidas cuando al suelo estéril y no estéril se adicionó superfosfato triple se asemejan a las obtenidas por FONTES y FONTES (1992), quienes en un experimento donde se investigó la concentración de fósforo y el crecimiento de plántulas de tomate en función de la combinación de dosis y localización de fertilizantes fosfatados en relación a las semillas, encontraron tras la utilización de superfosfato triple una concentración de 0,22 % de fósforo en las plántulas del respectivo tratamiento, la cual fue medida a los 31 días postsiembra.

Por otra parte, las concentraciones de fósforo encontradas donde se adicionó roca fosfórica con cepas fúngicas *A.niger* no difieren estadísticamente entre ellas y además no se diferencian de las obtenidas al aplicar superfosfato triple y al no adicionar fósforo al suelo. Al respecto, Salih *et al.* (1989) citado por WHITELAW, (2000) informó las más altas respuestas en fósforo captado por sorgo, con la inoculación de una especie no identificada de *Penicillium* y también con *Aspergillus foetidus* en suelo tratado con roca fosfórica en comparación con suelo tratado con superfosfato triple. Bajo las condiciones de este experimento, si bien es cierto, al aplicar roca inoculada con hongo los niveles de concentración de fósforo de las plántulas de tomate estadísticamente fueron similares, no alcanzaron niveles superiores numéricamente que al aplicar superfosfato triple, por lo que no se podría recomendar como alternativa de fertilización fosforada, ya que no se obtuvieron los mejores resultados o un efecto claramente detectable.

Para detectar un efecto atribuible de las cepas fúngicas sobre la solubilización de fósforo desde la roca fosfórica se analizó la absorción de fósforo por las plántulas de tomate a los 30 días. Los resultados (Cuadro 8) indican que existió diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos.

La absorción producida por las plántulas; derivada desde la producción de materia seca y de la concentración de fósforo medida en los tejidos; presentó una variación entre 0,138 y 1,051 mg P/ macetero. Así, los tratamientos sin la adición de fertilizante presentaron los valores más bajos de absorción de fósforo, encontrando los valores más altos cuando se aplicó una fuente fosforada soluble al suelo.

Las plántulas que menor cantidad de fósforo absorbieron fueron las que crecieron en suelo donde no se adicionó fósforo y cuando se aplicó solo roca y roca inoculada con la cepa control diferenciándose estadísticamente sólo del tratamiento suelo estéril con superfosfato triple. Respecto a las cepas de *A.níger* se puede decir que causaron un efecto intermedio, pero no detectable estadísticamente, debido a su adición al suelo con la roca, reflejado en un mayor contenido de fósforo absorbido respecto a los tratamientos en donde no se aplicó fertilización fosforada y aquellos cuya fuente fosforada era insoluble y a la vez en que las plántulas presentaron similar tendencia en los rendimientos en materia seca. Esto sugiere que también pudo existir solubilización de fósforo desde la roca por acción de los hongos, es decir, incremento del fósforo soluble en el suelo, reflejado en que las plántulas, numéricamente presentaron valores de absorción mayores que los controles sin fósforo pero no lo suficiente para llegar a ser superiores a superfosfato triple.

4.4 Roca fosfórica Carolina del Norte tratada con cepas fúngicas y su efecto en las variables de crecimiento en las plántulas de tomate

Los resultados de las variables de crecimiento de las plántulas de tomate; altura, número de hojas, largo radical y largo total se presentan en el Cuadro 9, para evaluar la posibilidad de fertilización con roca fosfórica y cepas fúngicas para obtención de plántulas con mejores características para el trasplante que al utilizar o no otras fuentes fosforadas.

Al analizar la altura promedio de plántulas de tomate obtenida a los 30 días postsiembra como se observa en el Cuadro 9 entre los tratamientos dados al suelo, se observó diferencia estadística significativa, lo que se vio reflejado en una mayor altura de plántula atribuida a la aplicación de una fuente fosforada soluble al suelo estéril respecto al no adicionarla al suelo en la misma condición.

La roca fosfórica inoculada con *A.niger* I y II estadísticamente no causó efecto sobre la altura de las plántulas, aún así, numéricamente la tendencia es ubicar estas plántulas, sobre la altura de los controles sin adición de fósforo o con fuentes poco solubles pero bajo a las obtenidas cuando se aplicó superfosfato triple. De todas formas, la altura de plántula que se obtuvo al aplicar *A.niger* I y II es similar a la indicada por Casseres, 1980 citado por ARRIAGADA, 1997 y Krarup, 1982 citado por SEVERINO, 1995, ya que el trasplante debe ser realizado cuando las plántulas presentan una altura de 10 a 12 cm y se debe efectuar entre los 25 a 30 días después de la siembra. No obstante los mejores resultados no se lograron con la aplicación de cepas fúngicas por lo que no es posible recomendarlas para la obtención de plántulas para el trasplante.

CUADRO 9 Altura, número de hojas, largo radical y largo total de plántulas de tomate cultivadas bajo distintos tratamientos

Tratamiento	Altura (cm) *	Nº de hojas *	Largo radical (cm) *	Largo total (cm) *
T1:Suelo no estéril+cultivo de tomate**	8,04 abc	3,2 a	9,9 abc	17,9 abc
T2:Suelo estéril+**	4,81 a	2,9 a	8,3 a	13,1 a
T3:Suelo estéril+RFCN+**	6,68 abc	3,1 a	8,2 a	14,9 ab
T4:Suelo estéril+RFCN+A.niger control+**	5,62 ab	2,8 a	8,6 ab	14,2 a
T5:Suelo no estéril+SFT+**	13,33 c	3,8 a	15,6 c	28,9 c
T6:Suelo estéril+SFT+**	11,71 bc	3,6 a	15,8 c	27,5 bc
T7:Suelo estéril+RFCN+A.niger I+**	11,11 abc	3,7 a	11,9 abc	23,1 abc
T8:Suelo estéril+RFCN+A.niger II+**	10,65 abc	3,5 a	15,2 bc	25,8 abc

* Promedios con letras distintas en la columna son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

** Cultivo de tomate T:Tratamiento RFCN: Roca fosfórica Carolina del Norte SFT: Superfosfato triple

El número de hojas promedio de plántulas de tomate obtenido 30 días después de la siembra, no presentó diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos aplicados (Cuadro 9)

De esta forma no fue posible asociar un efecto sobre el número promedio de hojas de plántulas de tomate de las cepas fúngicas en estudio ni de los otros tratamientos. Aún así, el número de hojas obtenidas en los tratamientos en que se adicionó fuente fosforada soluble y cepas de *A.niger* I y II es el que más se acerca a lo que recomienda para el trasplante KRARUP y MOREIRA (2003), quienes indican que las plántulas deben presentar cuatro a cinco hojas definitivas o verdaderas.

Respecto al largo radical se observa en el Cuadro 9 que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos. De esta forma los mayores largos radicales variaron entre 15,6 y 15,8 cm al aplicar superfosfato triple. Así la aplicación de una fuente fosforada soluble logró un efecto sobre el largo radical, ya que los tratamientos comparables suelo estéril con superfosfato triple y cultivo, suelo estéril con roca fosfórica y cultivo y suelo estéril con cultivo, fueron diferentes significativamente. En cuanto a estos resultados WILCOX (1967) menciona que un restringido sistema radicular es asociado muchas veces a la baja disponibilidad de un elemento en las cercanías de las raíces recién emergidas, lo que provocaría una disminución de la intercepción radical con el fertilizante que hubiese sido aplicado y que a la vez se reflejaría en un menor crecimiento o extensión de la raíz. Esto podría explicar el largo de raíz presentado al utilizar suelo estéril respecto a los otros tratamientos en que sí se aplicó una fuente fosforada y en los cuales se detectó un mayor largo radical, lo cual se debería al comportamiento de las raíces recién emergidas que inmediatamente debieron haber contactado los iones fosfatos producto de la aplicación de un fertilizante. El mayor problema generalmente ocurre con el fósforo, siendo común en el cultivo de tomate, apareciendo plantas con

reducido crecimiento y foliolos arroyados, típicos de deficiencia de fósforo (WILCOX y LANGSTON, 1960; FONTES y WILCOX, 1984), situación que no se vio reflejada en las plántulas cultivadas bajo las condiciones de este ensayo.

Por otra parte, la utilización de *A.niger* II con roca fosfórica provocó efecto sobre el largo radicular respecto al cultivar en suelo estéril y suelo estéril con roca fosfórica, encontrando un aumento significativo en el largo radical, situación que no se dio al utilizar *A.niger* I.

En cuanto al largo total de las plántulas después de un mes de cultivo como se muestra el Cuadro 9, existió diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos. Las plántulas con mayor crecimiento variaron entre 28,9 y 27,5 cm y se obtuvieron al aplicar al suelo superfosfato triple y las con menor crecimiento se presentaron cuando no se aplicó fertilizante fosforado alcanzando solo 13,1 cm específicamente en suelo estéril, lo cual se debería a que este tratamiento en su condición, impide el efecto benéfico de alguno de los microorganismos existentes en el suelo en su condición natural o no estéril que pueden influir sobre la disponibilidad de algunos nutrientes que presenta el suelo, por lo demás también existiría una alteración de las propiedades tanto químicas y físicas del suelo, lo que radica en una baja de la fertilidad natural del mismo y por último no existe un aporte mineral dado por la aplicación de un fertilizante y en este caso de uno fosforado, de esta forma las plántulas establecidas se desarrollaron en desventaja respecto a las plántulas cultivadas en suelo con aplicación de superfosfato triple donde si existió aporte de nutriente dado por la aplicación de un fertilizante soluble al suelo, que según RODRIGUEZ (2001), el fósforo de los gránulos del fertilizante reacciona con el suelo circundante, produciendo una esfera de influencia dada por la precipitación de compuestos fosforados y principalmente por la difusión de fósforo en este volumen de suelo, lo cual provocaría un flujo rápido de fósforo desde la solución hacia la fracción del fósforo activo, pasando todo el fósforo

soluble aplicado a formar parte de esta fracción lo que permite la obtención inmediata de los cultivos de este elemento, puesto que al ser absorbido genera un flujo rápido hacia la solución del suelo desde la fracción activa, por lo tanto esta mayor disponibilidad de nutriente radicaría en el mayor crecimiento total de las plántulas. Es así que las plántulas más largas se manifestaron en la mayor producción de materia seca y viceversa las plántulas más bajas determinaron el menor rendimiento en materia seca.

La utilización de superfosfato triple en suelo estéril y no estéril y la aplicación al suelo estéril de roca fosfórica con *A.niger* I y II provocó la obtención de las plántulas con mejor crecimiento. Aunque estadísticamente no existió efecto detectable de las cepas I y II, las plántulas que crecieron bajo este sustrato fueron superiores a las que crecieron en los controles sin fósforo u otras fuentes fosforadas poco solubles y levemente inferiores a cuando crecieron en suelo con fertilizante soluble.

Los resultados anteriores se asemejan a los obtenidos en un estudio donde se comprobó la actividad de solubilizadores en suelo deficiente en fósforo al cual le fue adicionado fosfato de calcio o fosfato soluble, obteniéndose un crecimiento igual o superior con un mineral insoluble en plantas de *Pinus* gracias a la inoculación microbiana (Ralston y McBride, 1976 citados por NAHAS *et al.*, 1994). Resultados significativos también fueron obtenidos por la inoculación de *Pseudomonas striata* y *Aspergillus awamori* adicionadas a la roca fosfórica pero en cultivos de gramíneas (Gaur *et al.*, 1980 citados por NAHAS *et al.*, 1994).

5 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este experimento se concluye lo siguiente:

La adición de roca fosfórica Carolina del Norte con y sin adición de cepas fúngicas produjo un ligero aumento del fósforo disponible del suelo quedando en una situación intermedia entre el P disponible sin adición de la roca fosfórica y el fósforo disponible obtenido con la adición de superfosfato triple. Además logró mantener el nivel de P disponible inicial en el suelo.

El ligero incremento de P disponible se debió más a la acción del pH ácido del suelo en la solubilización de la roca fosfórica que a la adición de las cepas fúngicas.

La adición de roca fosfórica Carolina del Norte en conjunto a las cepas *A.niger* I y *A.niger* II no causaron daños en la emergencia y sobrevivencia de las plántulas de tomate.

No se detectaron efectos de la adición de roca fosfórica con cepas de *A.niger* I y II en la concentración de fósforo en el material vegetal, aunque el efecto intermedio en la absorción de las plantas, es decir, entre los tratamientos sin aplicación y con la aplicación de superfosfato triple, sugiere que existió una ligera solubilización de fósforo desde la roca fosfórica por acción de las cepas fúngicas I y II.

La producción de materia verde y materia seca de las plántulas de tomate cultivadas en suelo tratado con roca fosfórica Carolina del Norte inoculada con *A.niger* I y *A.niger* II fue similar estadísticamente a la encontrada en los tratamientos con y sin fertilización fosforada.

En todas las variables de crecimiento de las plántulas de tomate evaluadas no se determinó un efecto positivo evidente que sugiera que la adición de roca fosfórica con las cepas fúngicas evaluadas produzca un impacto agronómico favorable.

6 RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la adición de roca fosfórica Carolina del Norte (RFCN) inoculada con cepas fúngicas de *A.niger* como fertilizante sobre el crecimiento y productividad de plántulas de tomate en almácigos usando suelo derivados de cenizas volcánicas. Como controles fueron incluidos suelo estéril y no estéril sin fertilizante fosforado, suelo estéril con roca fosfórica Carolina del Norte, suelo estéril con roca fosfórica Carolina del Norte inoculada con una cepa control de *A.niger* y suelo estéril y no estéril con superfosfato triple. Cada tratamiento fue realizado por triplicado y todos los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y posteriormente a una prueba de Tukey.

Al inicio y al final del ensayo se evaluaron el fósforo disponible (P-Olsen) y pH del suelo. Luego de 30 días, la adición de roca fosfórica Carolina del Norte con y sin adición de cepas fúngicas produjo un ligero aumento del fósforo disponible del suelo, quedando en una situación intermedia entre el P disponible sin adición de la roca fosfórica y el fósforo disponible obtenido con la adición de superfosfato triple que se debió más a la acción del pH ácido del suelo en la solubilización de la roca fosfórica que a la adición de las cepas fúngicas. El pH del suelo decreció en solo 0,1 unidad de pH.

La respuesta de las plántulas a cada tratamiento se evaluó midiendo la emergencia a los 10 días postsiembra, sobrevivencia, altura de plántulas, número de hojas, largo radical, largo total de plántula, peso fresco, peso seco, concentración de fósforo y absorción de fósforo al final del ensayo. La producción de materia verde y materia seca y la concentración de fósforo de las

plántulas que crecieron en suelo con cepas de *A.niger* I y II, fue similar estadísticamente a la de los tratamientos controles. Aunque el efecto intermedio en la absorción de las plantas, es decir, entre los tratamientos sin aplicación y con la aplicación de superfosfato triple, sugiere que existió una ligera solubilización de fósforo desde la roca fosfórica por acción de las cepas fúngicas I y II.

La adición de roca fosfórica Carolina del Norte en conjunto a las cepas *A.niger* I y *A.niger* II no causaron daños en la emergencia y sobrevivencia de las plántulas de tomate, lo que se reflejó en una respuesta similar de las plántulas en todos los tratamientos aplicados, lo que observó en las otras variables de crecimiento evaluadas. Por lo tanto no se determinó un efecto positivo evidente que sugiera que la adición de roca fosfórica con las cepas fúngicas I y II produzca un impacto agronómico favorable.

SUMMARY

In this research was evaluated the addition of North Carolina phosphoric rock inoculated with fungus *A.niger* like fertilizer. The controls were sterile and nonsterile soil without addition of phosphate fertilizer, sterile soil with North Carolina phosphoric rock, sterile soil with North Carolina phosphoric rock inoculated with *A.niger* as a control, and finally sterile and nonsterile soil with triple superphosphate. Each treatment was made three times and all the results were analyzed by variance analysis and Tukey test.

The available phosphorus (P Olsen) and pH, were evaluated at the beginning and at the end of the test. After 30 days, the phosphoric rock addition Carolina of the North with and without addition of fungus I y II produced a slight increase of phosphorus available of the soil, being left in an intermediate situation between P available without addition of the phosphoric rock and phosphorus available obtained with the triple superphosphate addition that had more to the action of pH acid of the soil in the solubilization of the phosphoric rock that to the addition of the fungus I y II. The pH of the soil decreased in single 0,1 unit of pH.

The answers of the seedlings to each test were evaluated measuring the emergency at ten days of cultivated, the survival, seedlings height, leaves number, radical length, total length, fresh weight, dry weight and phosphorus concentration the phosphorus absorption at the end of the test. The production of fresh matter and dry matter and the phosphorus concentration of seedlings that grew in soil with fungus *A.niger* I and II, were similar statistically to the treatments controls. Although the intermediate effect in the absorption of the

plants, that is to say, between the treatments without application and with the application of triple superphosphate, suggest existed a light solubilization of phosphorus from the phosphoric rock by action of fungus I and II.

The phosphoric rock addition Carolina of the North altogether to the fungus *A.niger* I y II did not cause to damages in the emergency and survival of seedlings of tomato. It was reflected in a similar answer of seedlings in all the applied treatments, which observed in the other variables of growth evaluated. Therefore a positive effect was not determined that suggests phosphoric rock addition with fungus I and II produce a favorable impact in the agronomy.

7 BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, M. 1961. Introduction to soil microbiology. New York, Estados Unidos. Wiley. 472 p.
- ANWANDTER, V. 2003. Presencia de ecotipos de *Holcus lanatus* L en suelos con niveles contrastantes de P. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 60 p.
- ARRIAGADA, C. 1997. Efecto del uso de hidrogeles en trasplante de tomates. 1997. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 70 p.
- BARRERA, S. 2002. Solubilización de Roca fosfórica Carolina del Norte por hongos nativos aislados de un suelo trumao de la X región. Tesis Tec. Med. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Medicina. 57 p.
- BLACK, C. A. 1975. Relaciones suelo planta. 2ª ed. Buenos Aires, Argentina. Hemisferio Sur. 866 p.
- BONOMELLI, C; HENRIQUEZ, L; GIRAL, L; y BESCANSÁ, P. 2003. Disponibilidad de fósforo en un Andisol, con distintas fuentes y dosis de fósforo, en condiciones controladas. Ciencia e Investigación Agraria. (Chile), 30 (3): 187-195.

- BORIE, F., QUINTEROS, J y AGUILERA, M. 1983. Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. IV: Solubilización de fosfatos por hongos del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)*, 43 (4): 371-376.
- BRADASIC, P. 1979. Descripción y rendimiento de 16 líneas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivadas en Valdivia. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 36p.
- BUCKMAN, H. y BRADY, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. México. Hispano Americana. 590 p.
- CAMPILLO, R. 1990. Roca fosfórica: Nueva alternativa para fertilización de praderas. *Investigación y progreso agropecuario Carillanca (Chile)*, 9 (3): 31-34.
- , 1991. Utilización de roca fosfórica Carolina del Norte en fertilización de praderas. *Investigación y progreso agropecuario Carillanca (Chile)* 10 (4): 9-12.
- CARRASCO, J. 2000. Residualidad de diferentes fuentes fosforadas en tres suelos volcánicos. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 75 p.
- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES (IREN). 1978. Estudio de suelos de la provincia de Valdivia. CORFO-UACH. 178p.
- CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA). 2003. Hortalizas y flores. (On line). <[http:// www.odepa.cl](http://www.odepa.cl)> (18 nov 2003).

- DOMINGUEZ, A. 1997. Tratado de fertilización. 3ªed. Madrid, España. Mundi Prensa. 613 p.
- EPPLÉ, G. 2000. Fraccionamiento del fósforo en suelos sometidos a distintos manejos agrícolas. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 130 p.
- FONTES, P y FONTES, R. 1992. Absorção de fósforo e crescimento do tomateiro influenciado por fontes, níveis e posicionamento do fertilizante. Horticultura Brasileira (Brasil), 10 (1): 11-13.
- FONTES, P y WILCOX, G. 1984. Growth and P uptake by tomato cultivars as influenced by phosphorus concentration in soil and nutrient solution. Journal of the American Society for Horticultural Science. 109 (5): 633-636.
- GIACONI, V. y ESCAFF, M. 2001. Cultivo de hortalizas. Universitaria. Santiago, Chile. pp: 267-287.
- HAVLIN, J., BEATON, J., TISDALE, S y WARNER, N. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 6ª ed. New Jersey, Estados Unidos. Prentice Hall. 499 p.
- IILMER, P y SCHINNER, F. 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates. Solubilization mechanisms. Soil Biology and Biochemistry. (27): 257-263.
- KRARUP y MOREIRA. 2003. Hortalizas de estación cálida (On line). <<http://www.puc.cl/webpuc/html/frames/frservicios.html>> (18 nov. 2003).

- MERINO, F. 1989. Evaluación de cinco cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero en Limache. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 88 p.
- NAHAS, E., FORNASIERI, D y ASSIS, L. 1994. Resposta a inoculao de fungo solubilizador de fosforo em milho. Science Agricultura Piracicaba (Brasil) 51(3): 463-469.
- NANNIG, P. 1996. Evaluación de roca fosfórica parcialmente acidulada en praderas permanentes. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 59 p.
- NARSIAN, V., THAKKAR, J y PATEL, H. 1995. Mineral phosphate solubilization by *Aspergillus aculeatus* . Indian Journal Experimental Biology. (33): 91-93.
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Boletín FAO (9). 198 p
- ORMEÑO, J., FUENTES, F y SOFFIA, V. 2003 Tolerancia del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a aplicaciones post trasplante del herbicida halosulfuron-metil. Agricultura técnica (Chile) (On line) (63)2. <<http://www.scielo.cl/scielo.php>>. (13 jun. 2004).
- PAUL, E y CLARK, F. 1996. Soil microbiology and biochemistry. 2^a ed. California, Estados Unidos. Academic Press. 340 p.

PINILLA, H. 1994. Uso de roca fosfórica parcialmente acidulada en suelos de la zona sur. *Frontera Agrícola (Chile)* 2 (1): 51-60.

PINOCHET, D. 1997. Estrategias de fertilización fosforadas en praderas. **In:** Avances en producción animal. Luis Latrille (ed). Instituto de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. pp: 177-198

PINOCHET, D. 1996. Estrategias de fertilización fosforadas en praderas. **In:** Avances en producción animal. Luis Latrille (ed). Instituto de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. pp: 181-209

REYES, I. 1991a. Cuantificación de microorganismos solubilizadores de fosfatos en suelos del yacimiento de roca fosfórica de Monte Fresco. *Revista Facultad Agronomía Maracay (On line)* 17: 373-379. <http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagro/v17_14/v171a280.html>(20 mar. 2004).

-----1991b. Dinámica del P y aislamiento de algunos microorganismos en la mezcla pulpa de café- roca fosfórica. *Revista Facultad Agronomía (Maracay) (On line)* 17: 373-379. <http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagro/v17_14/v171a300.html>(20 mar. 2004).

RODRÍGUEZ, J. 2001. La fertilización de los cultivos. Santiago. Chile: Lom. 117 p.

RODRIGUEZ, J. 1993. La fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en agricultura. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. 290 p.

- ROJAS, C., CAMPILLO, R., y BESOAIN, E. 1993. Uso de rocas fosfóricas en agricultura. Investigación y progreso agropecuario La Platina (Chile) (79): 31-33.
- RUBATZKY, V. y YAMAGUCHI, M. 1999. World vegetables. Principles, Production and Nutritive Values. 2^a ed. Aspen, Estados Unidos. Gaithersburg. 843 p.
- SADZAWKA, A., GREZ, Z., MOTA, M.L., SAAVEDRA, R., CARRASCO, M.A., y ROJAS, C. 2000. Métodos de análisis recomendados para suelos chilenos. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Comisión de Normalización y Acreditación (CNA). 62p.
- . 2001. Métodos de análisis. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de Normalización y Acreditación (CNA). Chile. pp:1-24.
- SAMSON, R y PITT, J. 2000. Integration of modern taxonomic methods for *Penicillium* and *Aspergillus*. Classification. Ámsterdam. Harwood Academic. 510 p.
- SEPULVEDA, G; BESOAIN, E. y MOLINA, R. 1997. Rocas fosfóricas chilenas. II. Eficiencia agronómica y su uso como fertilizantes fosfatados en suelos volcánicos. Agricultura Técnica (Chile) 57 (4): 225-241.
- SEVERINO, S. 1995. Suelos de corteza y aserrín en la producción de almácigos de dos hortalizas. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 68 p.

- SIERRA, C. 1990. Rocas fosfóricas: Nueva fuente de P para pradera y cultivos. Boletín Técnico INIA Remehue (Chile) 159 p.
- SOCORRO, A y PARETS, E. 2004. Biofertilizantes. IV capítulo (On line).<
<http://www.ucf.edu.cu/publicaciones/html>. (10 abr. 2004).
- TAIZ, L y ZEIGER, E. 1991. Plant physiology. Redwood City : The Benjamin Cummings. Chile. 591 p.
- TATE, R. 2000. Soil Microbiology. 2^a ed. New York, Estados Unidos. Wiley. 508 p.
- TISDALE, S., WARNER, N., HAVLIN, J y BEATON, J. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5^a ed. New York, Estados Unidos. MacMillan. 634 p.
- WHITELAW, M., HARDEN, T y HELYAR, K. 1999. Phosphate solubilization in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. Soil Biology and Biochemistry. (31): 655-665.
- WHITELAW, M. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. Advances in Agronomy (Australia) 69: 99-152.
- WIEN, H. 1997. The Physiology of vegetable crops. In: Tomato . Kinet, J. y Peet, M. (eds). London. 662 p.
- WILCOX, G. 1967. Effect of P fertilization on tomato seedling growth rate. Proc. American Society Horticulture Science. (90): 330-334.

WILCOX, G y LANGSTON, R. 1960. Effect of starter fertilization on early growth and nutrition of directed-seeded and transplanted tomatoes. Proc. American Society Horticulture Science. (75): 584-594.

WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Madrid, España. Mundi Prensa. 1045 p.

ANEXOS

ANEXO 1 Concentración (%) de fósforo en plántulas de tomate por tratamiento y repetición.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES																	
T1			T2			T3			T4			T5			T6		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0,15	0,10	0,11	0,37	0,28	0,13	0,39	0,13	0,18	0,26	0,19	0,13	0,29	0,34	0,41	0,24	0,42	0,38

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES					
T7			T8		
R1	R2	R3	R1	R2	R3
0,19	0,21	0,20	0,15	0,15	0,16

ANEXO 2 Porcentaje (%) de emergencia de plántulas de tomate por tratamiento y repetición.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES																	
T1			T2			T3			T4			T5			T6		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
92	92	76	32	96	76	32	88	88	96	96	92	92	84	88	88	96	88

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES					
T7			T8		
R1	R2	R3	R1	R2	R3
96	96	92	88	96	92

ANEXO 3 Porcentaje (%) de sobrevivencia de plántulas de tomate por tratamiento y repetición.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES																	
T1			T2			T3			T4			T5			T6		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
85	95	90	75	75	75	75	90	75	75	95	80	95	95	90	90	80	80

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES					
T7			T8		
R1	R2	R3	R1	R2	R3
90	80	90	95	85	85

ANEXO 4 Altura (cm) de plántulas de tomate por tratamiento y repetición a los 30 días de cultivo.

		Número de plántulas por tratamiento														
T*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	6,0	7,0	5,5	5,5	6,5	5,5	6,0	6,0	6,3	6,0	6,0	6,2	6,0	6,7	6,6	
1	12,0	11,0	9,4	10,5	10,5	8,5	8,7	9,5	7,8	8,8	10,3	9,8	11,8	10,2	9,9	
1	8,7	9,5	7,1	11,0	10,4	7,3	7,4	7,2	5,6	10,1	8,1	7,4	6,3	8,2	7,0	
2	3,9	4,5	3,6	5,7	5,4	5,4	4,7	4,8	5,4	6,0	5,0	4,3	5,2	4,8	4,7	
2	4,5	7,6	7,0	6,5	6,7	3,8	3,5	4,0	4,6	4,6	4,7	4,5	5,7	4,9	6,2	
2	5,2	3,5	4,4	4,6	5,0	4,0	3,8	4,5	4,2	4,0	3,9	5,5	3,9	3,6	4,3	
3	4,4	3,3	4,4	4,3	3,4	3,3	3,3	4,8	3,5	4,6	3,7	3,9	4,2	4,6	3,5	
3	6,9	7,9	7,1	6,9	8,8	7,0	6,6	7,8	7,4	5,1	7,9	9,2	6,7	7,5	6,1	
3	11,3	9,7	10,9	6,8	8,0	11,2	11,3	7,3	5,0	5,4	8,7	10,7	6,5	10,1	9,5	
4	4,0	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,5	3,9	4,0	4,3	3,6	4,2	4,1	3,8	4,0	
4	6,1	7,2	6,9	7,3	6,6	6,9	7,8	6,2	7,8	8,0	7,7	5,5	6,9	5,8	8,0	
4	6,6	7,6	5,6	6,6	6,8	5,6	5,0	5,7	6,1	8,0	5,3	5,8	6,5	5,9	5,4	
5	12,8	10,8	11,4	10,4	15,7	16,8	12,3	11,3	11,8	5,9	16,1	16,2	12,0	12,4	13,2	
5	14,3	12,3	12,7	19,5	18,4	11,1	14,4	10,9	17,4	11,8	13,9	20,3	15,2	17,5	11,6	
5	12,0	13,5	17,1	13,6	14,4	10,4	11,4	10,1	7,5	11,3	16,9	10,3	8,9	13,2	10,1	
6	8,1	8,9	7,1	8,6	4,3	7,4	5,3	6,4	4,2	14,5	3,8	5,0	6,6	8,2	6,1	
6	14,8	19,5	17,3	17,4	13,9	10,6	22,4	23,8	14,0	5,7	9,7	12,8	18,1	17,2	12,3	
6	8,4	9,4	14,6	19,6	17,2	8,8	19,7	25,8	8,2	11,1	12,0	8,8	9,3	12,1	13,0	
7	12,7	12,0	12,1	11,4	12,2	12,4	13,2	11,8	9,6	9,5	11,4	13,4	11,1	10,7	12,3	
7	7,5	8,0	8,6	7,6	7,2	8,8	7,2	7,5	9,4	11,9	10,7	9,9	9,6	8,3	7,6	
7	12,2	16,2	14,9	11,3	15,0	12,6	13,1	13,1	12,6	11,0	10,4	10,8	13,7	12,2	11,0	
8	12,2	12,7	12,6	13,2	12,3	14,8	10,7	11,4	10,0	14,0	14,1	14,4	13,1	12,0	11,1	
8	11,6	11,9	11,2	11,7	11,4	12,1	11,7	12,4	12,2	10,8	13,0	12,5	11,3	10,9	12,0	
8	10,3	6,4	6,9	8,0	8,5	7,5	6,5	8,1	6,0	12,8	6,9	6,7	7,8	8,9	9,2	

*Tratamiento

ANEXO 5 Largo radical (cm) de plántulas de tomate de 30 días por tratamiento y repetición.

		Número de plántulas por tratamiento														
T*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	7,0	7,3	7,5	7,0	8,0	9,0	7,0	10,0	11,0	11,0	8,0	9,0	6,9	7,1	10,3	
1	7,5	7,0	8,1	8,0	10,0	17,0	12,3	11,0	10,2	11,0	12,0	10,0	7,7	8,0	9,5	
1	13,5	10,0	13,0	11,0	10,0	11,0	11,5	11,0	10,0	15,0	10,0	12,0	10,7	12,4	10,7	
2	8,0	8,0	9,0	8,0	11,0	7,0	7,5	9,0	9,0	7,3	7,6	4,9	8,8	7,9	7,4	
2	6,7	7,6	10,7	8,4	7,7	7,2	7,1	6,7	8,8	12,1	6,7	8,2	13,1	12,2	9,7	
2	6,8	5,2	7,2	9,8	9,9	6,7	7,9	8,4	7,6	8,6	5,7	9,8	7,2	9,6	8,2	
3	5,8	3,2	5,8	4,3	6,7	4,9	4,0	7,2	6,8	5,5	6,9	5,2	5,9	5,0	6,2	
3	8,7	7,9	14,7	7,1	9,1	8,6	8,7	8,8	9,6	8,4	9,8	8,6	10,9	8,9	9,1	
3	10,6	8,6	10,4	7,1	10,1	14,7	9,1	8,9	8,4	8,1	8,3	10,2	12,3	11,3	9,9	
4	8,0	6,0	10,0	7,5	5,0	12,0	7,5	7,0	5,0	6,0	6,5	7,5	7,8	9,6	7,7	
4	6,5	7,5	8,0	8,4	8,0	9,0	11,0	6,5	8,7	9,2	9,5	7,5	10,0	9,3	8,6	
4	10,0	11,0	9,0	10,5	10,0	8,0	10,0	11,0	10,0	10,0	8,0	7,8	9,7	8,9	10,2	
5	15,8	11,7	14,5	12,2	16,1	16,8	10,5	13,5	15,1	14,4	17,5	17,3	16,5	16,0	12,1	
5	18,0	14,7	14,0	23,2	21,0	11,2	13,5	11,2	20,3	13,0	15,1	25,4	19,6	20,0	15,7	
5	12,7	14,5	17,5	15,2	16,4	10,5	14,2	13,5	17,0	17,5	22,5	12,5	15,9	13,7	14,2	
6	12,0	12,7	9,5	20,5	12,5	12,8	10,3	10,7	9,0	15,0	10,0	8,7	11,1	10,0	17,3	
6	16,7	25,0	22,4	24,0	20,3	15,8	27,0	25,0	20,0	13,0	12,0	14,0	14,3	20,1	19,2	
6	14,0	12,0	18,0	19,5	18,0	11,0	22,0	27,0	10,0	11,3	13,0	10,7	21,0	18,2	15,3	
7	13,1	12,0	12,3	10,7	11,2	12,5	12,8	12,0	10,0	11,2	11,0	13,0	11,9	12,4	12,1	
7	10,0	10,0	10,3	9,0	9,0	9,5	8,5	8,7	10,0	14,0	12,0	10,5	11,2	10,7	12,3	
7	12,0	17,0	11,2	10,0	14,0	13,0	12,7	16,0	17,0	18,0	12,7	10,5	13,1	14,0	16,3	
8	14,0	15,3	16,0	20,0	17,0	23,0	16,0	16,2	18,0	16,0	20,0	21,0	19,7	20,5	17,2	
8	18,0	19,1	20,0	17,0	15,0	16,0	17,0	16,3	16,0	19,0	17,5	20,0	16,2	15,9	19,0	
8	10,7	9,2	9,3	9,5	12,0	10,0	9,0	11,7	11,0	10,0	9,5	10,0	9,7	10,2	10,7	

*Tratamiento

ANEXO 6 Número de hojas en plántulas de tomate de 30 días por tratamiento y repetición.

		Número de plántulas por tratamiento														
T*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	2	3	3	
1	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	
2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	
3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	4	4	4	
3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	
4	3	2	3	2	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3	2	
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	
5	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	5	4	4	5	
5	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	
6	4	3	3	3	3	4	3	3	2	3	3	2	3	2	3	
6	4	5	5	5	4	4	5	5	5	3	3	3	5	4	4	
6	3	3	4	5	4	3	5	5	3	3	4	3	3	4	4	
7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
7	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	
7	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	
8	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	
8	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	
8	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	

*Tratamiento

ANEXO 7 Largo total (cm) por tratamiento y repetición de plántulas de tomate cultivadas durante 30 días.

		Número de plántulas por tratamiento														
T*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	13,0	14,3	13,0	12,5	14,5	14,5	13,0	16,0	17,3	17,0	14,0	15,2	12,9	13,8	16,9	
1	19,5	18,0	17,5	18,5	20,5	25,5	21,0	20,5	18,0	19,8	22,3	19,8	19,5	18,2	19,4	
1	22,2	19,5	20,1	22,0	20,4	18,3	18,9	18,2	15,6	25,1	18,1	19,4	17,0	20,6	17,7	
2	11,9	12,5	12,6	13,7	16,4	12,4	12,2	13,8	14,4	13,3	12,6	9,2	14,0	12,7	12,1	
2	11,2	15,2	17,7	14,9	14,4	11,0	10,6	10,7	13,4	16,7	11,4	12,7	18,8	17,1	15,9	
2	12,0	8,7	11,6	14,4	14,9	10,7	11,7	12,9	11,8	12,6	9,6	15,3	11,1	13,2	12,5	
3	10,2	6,5	10,2	8,6	10,1	8,2	7,3	12,0	10,3	10,1	10,6	9,1	10,1	9,6	9,7	
3	15,6	15,8	21,8	14,0	17,9	15,6	15,3	16,6	17,0	13,5	17,7	17,8	17,6	16,4	15,2	
3	21,9	18,3	21,3	13,9	18,1	25,9	20,4	16,2	13,4	13,5	17,0	20,9	18,8	21,4	19,4	
4	12,0	10,1	13,9	11,2	8,5	15,3	11,0	10,9	9,0	10,3	10,1	11,7	11,9	13,4	11,7	
4	12,6	14,7	14,9	15,7	14,6	15,9	18,8	12,7	16,5	17,2	17,2	13,0	16,9	15,1	16,6	
4	16,6	18,6	14,6	17,1	16,8	13,6	15,0	16,7	16,1	15,9	13,3	13,6	16,2	14,8	15,6	
5	28,6	22,5	25,9	22,6	31,8	33,6	22,8	24,8	26,9	26,2	33,6	33,5	28,5	28,4	25,3	
5	32,3	27,0	26,7	42,7	39,4	22,3	27,9	22,1	37,7	24,3	29,0	45,7	34,8	37,5	27,3	
5	24,7	28,0	34,6	28,8	30,8	20,9	25,6	23,6	24,5	32,0	39,4	22,8	24,8	26,9	24,3	
6	20,1	21,6	16,6	29,1	16,8	20,2	15,6	17,1	13,2	20,7	13,8	13,7	17,7	18,2	23,4	
6	31,5	44,5	39,7	41,4	34,2	26,4	49,4	48,8	34,0	24,1	21,7	26,8	32,4	37,3	31,5	
6	22,4	21,4	32,6	39,1	35,2	19,8	41,7	52,8	18,2	20,8	25,0	19,5	30,3	30,3	28,3	
7	25,8	24,0	24,4	22,1	23,4	24,9	26,0	23,8	19,6	23,1	22,4	26,4	23,0	23,1	24,4	
7	17,5	18,0	18,9	16,6	16,2	18,3	15,7	16,2	19,4	25,0	22,7	20,4	20,8	19,0	19,9	
7	24,2	33,2	26,1	21,3	29,0	25,6	25,8	29,1	29,6	32,0	23,1	21,3	26,8	26,2	27,3	
8	26,2	28,0	28,6	33,2	29,3	37,8	26,7	27,6	28,0	26,8	34,1	35,4	32,8	32,5	28,3	
8	29,6	31,0	31,2	28,7	26,4	28,1	28,7	28,7	28,2	31,8	30,5	32,5	27,5	26,8	31,0	
8	21,0	15,6	16,2	17,5	20,5	17,5	15,5	19,8	17,0	17,5	16,4	16,7	17,5	19,1	19,9	

*Tratamiento

ANEXO 8 Peso fresco (g) por tratamiento repetición de plántulas de tomate de 30 días.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES																	
T1			T2			T3			T4			T5			T6		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2,03	2,17	1,83	0,96	0,73	0,85	0,35	1,58	2,11	0,63	1,39	1,27	3,67	5,07	4,08	1,49	9,21	6,86

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES					
T7			T8		
R1	R2	R3	R1	R2	R3
4,47	2,15	5,16	4,43	3,74	1,7

ANEXO 9 Peso seco (g) por tratamiento y repetición de plántulas de tomate de 30 días.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES											
T1			T2			T3			T4		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0,1164	0,1259	0,1038	0,0523	0,0671	0,0663	0,0207	0,0973	0,1334	0,0476	0,0962	0,0976

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES											
T5			T6			T7			T8		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0,1753	0,2754	0,2249	0,1106	0,4977	0,4425	0,2717	0,1427	0,3390	0,2788	0,2527	0,1226

ANEXO 10 Valor final de fósforo disponible (ppm P-Olsen) en el suelo utilizado por tratamiento y repetición luego de 30 días.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES											
T1			T2			T3			T4		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1,7249	2,4281	2,0655	1,4562	2,9155	1,5909	2,8585	3,584	4,1162	2,0729	3,3012	2,1902

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES											
T5			T6			T7			T8		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
4,2161	5,6112	4,8921	3,812	6,0918	4,3929	4,1563	2,8073	2,6939	4,3024	3,2809	3,2415

ANEXO 11 Valor final de pH en agua en el suelo utilizado por tratamiento y repetición luego de 30 días.

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES											
T1			T2			T3			T4		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
4,9	4,9	4,9	5,1	4,9	5,1	5,1	5,0	5,0	5,2	5,1	5,1

TRATAMIENTOS Y REPETICIONES											
T5			T6			T7			T8		
R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
5,0	5,0	5,0	5,2	5,0	5,2	5,1	5,1	5,0	5,1	5,0	5,1

ANEXO 12 Análisis de varianza de la concentración de fósforo en plántulas de tomate (\log_{10} (concentración_%_)).

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	0.525092	7	0.0750132	3.56	0.0207
Bloque	0.0442758	2	0.0221379	1.05	0.3761
Residuo	0.295325	14	0.0210946		
Total	0.864693	23			

ANEXO 13 Análisis de varianza para el porcentaje de emergencia de plántulas de tomate (Asin ($\sqrt{\text{emergentes}/100}$)).

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	1216.49	7	173.785	1.56	0.2276
Bloque	504.857	2	252.428	2.26	0.1410
Residuo	1563.07	14	111.648		
Total	3284.42	23			

ANEXO 14 Análisis de varianza para el porcentaje de sobrevivencia de plántulas de tomate.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	716.667	7	102.381	2.48	0.0699
Bloque	56.25	2	28.125	0.68	0.5215
Residuo	577.083	14	41.2202		
Total	1350.0	23			

ANEXO 15 Análisis de varianza para la altura de plántulas de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	205.544	7	29.3634	5.30	0.0039
Bloque	20.1556	2	10.0778	1.82	0.1983
Residuo	77.5028	14	5.53591		
Total	303.202	23			

ANEXO 16 Análisis de varianza para el largo radical de plántulas de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	245.113	7	35.0162	6.30	0.0018
Bloque	12.944	2	6.47202	1.17	0.3403
Residuo	77.7522	14	5.55373		
Total	335.81	23			

ANEXO 17 Análisis de varianza para el número de hojas de plántulas de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	3.168	7	0.452571	2.77	0.0494
Bloque	0.617233	2	0.308617	1.89	0.1873
Residuo	2.28337	14	0.163098		
Total	6.0686	23			

ANEXO 18 Análisis de varianza para el largo total de plántulas de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	867.816	7	123.974	6.01	0.0022
Bloque	65.9626	2	32.9813	1.60	0.2369
Residuo	288.82	14	20.63		
Total	1222.6	23			

ANEXO 19 Análisis de varianza para log10 (peso fresco) de plántulas de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	1.89779	7	0.271113	4.62	0.0072
Bloque	0.16294	2	0.0814699	1.39	0.2817
Residuo	0.821328	14	0.0586663		
Total	2.88206	23			

ANEXO 20 Análisis de varianza para log10 (Peso seco) de plántulas de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	1.60012	7	0.228589	4.83	0.0060
Bloque	0.222939	2	0.111469	2.36	0.1312
Residuo	0.662157	14	0.0472969		
Total	2.48522	23			

ANEXO 21 Análisis de varianza para ppm de P-Olsen del suelo tras un cultivo de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	26.2221	8	3.27777	7.25	0.0004
Bloque	2.14378	2	1.07189	2.37	0.1254
Residuo	7.23482	16	0.452176		
Total	35.6007	26			

ANEXO 22 Análisis de varianza para pH del suelo tras un cultivo de tomate de 30 días.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Tratamiento	0.182963	8	0.0228704	6.96	0.0005
Bloque	0.0274074	2	0.0137037	4.17	0.0349
Residuo	0.0525926	16	0.00328704		
Total	0.262963	26			

ANEXO 23 Análisis de varianza de la absorción de fósforo por plántulas de tomate.

Fuente	SC	GL	CM	F	P-Valor
Bloque	0.307583	2	0.153792	1.22	0.3259
Tratamiento	3.90145	7	0.55735	4.41	0.0088
Residuo	1.77079	14	0.126485		
Total	5.97983	23			