

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**“EFECTO DEL FOSFATO DE SECHURA, INCUBADO EN
SOLUCIÓN DE MICROORGANISMOS EN EL RENDIMIENTO DE
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) EN AYACUCHO
A 2 750 m.s.n.m.”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

JOSÉ NARCISO GÁLVEZ CHAVELÓN

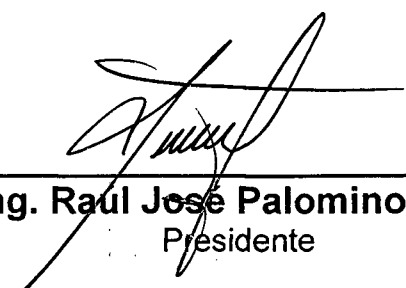
AYACUCHO – PERÚ

2 0 0 9

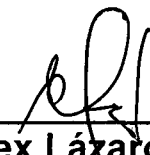
**“EFECTO DEL FOSFATO DE SECHURA, INCUBADO EN
SOLUCIÓN DE MICROORGANISMOS EN EL RENDIMIENTO DE
TOMATE (*Lycopersicum esculentum* Mill) EN AYACUCHO
A 2 750 m.s.n.m.”**

RECOMENDADO : 30 de enero del 2009

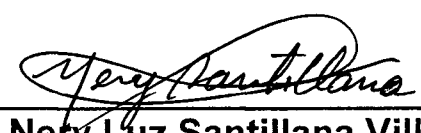
APROBADO : 11 de febrero del 2009



M.Sc. Ing. Raul Jose Palomino Marcatoma
Presidente



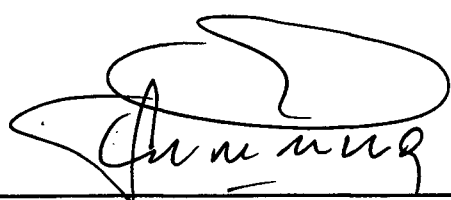
M.Sc. Ing. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Miembro



Dra. Nery Luz Santillana Villanueva
Miembro



Ing. Juan Girón Molina
Miembro



M.Sc. Ing. Francisco Condeña Almora
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

DEDICATORIA

*Con todo cariño: A mis amados
padres Francisco
y Elena.*

*A mis hermanos: Enriqueta, Eduardo,
Lidia y María.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Formación Profesional de Agronomía, alma máter de mi formación profesional.

A los señores docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por sus valiosas enseñanzas y orientaciones que condujeron al logro de mis objetivos.

A todos mis maestros del Área de Suelos, en especial al Ing. Alex Lázaro TINEO BERMÚDEZ, por su asesoramiento, aporte y colaboración en el desarrollo y conducción del presente trabajo de investigación. Asimismo, al Ing. Juan Benjamín Girón Molina, a la Dra. Nery Luz Santillana Villanueva, y al M.Sc. Raúl José Palomino Marcatoma quienes supieron brindarme su ayuda desinteresada en el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Esteban Quispe Gómez, técnico del Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar, "Nicolás Roulet" del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la UNSCH, por su colaboración desinteresada.

A mis queridos padres Francisco y Elena; por su enorme sacrificio en el logro de mi profesión.

A mis hermanos Enriqueta, Eduardo, Lidia y María; en especial a Enriqueta por su abnegado apoyo y comprensión.

A mi querida familia, amigos, y a todas las personas que directa e indirectamente contribuyeron en la materialización del presente trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCION	
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Los Microorganismos Efectivos Naturales (MEN)	1
1.2 El Fósforo	10
1.3 Roca Fosfórica o Fosfatos Naturales	16
1.4 El cultivo de Tomate	21
1.5 El diseño 03 de Julio (3DJ)	25
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1 Ubicación	28
2.2 Instalación y Conducción del Experimento	28
2.2.1 Solución Natural con Microorganismos Efectivos (MEN)	28
2.2.2 Roca Fosfórica Incubada en MEN	29
2.2.3 Suelo Utilizado en el Experimento	30
2.2.4 Macetas	31
2.2.5 Fertilización	31
2.2.6 Planta Indicadora (Cultivo)	31
2.2.7 Almacigado y Transplante	31
2.2.8 Riego	32
2.3 Diseño Metodológico	32
2.3.1 Diseño experimental y análisis estadístico	32
2.4 Criterios de Evaluación	34
2.4.1 Rendimiento de fruto	34
2.4.2 Materia seca de la parte aérea	34
2.4.3 Determinación del fósforo disponible en el incubado	34

2.4.4 Longitud y diámetro de frutos	34
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1 Rendimiento de tomate – fruto	35
3.2 Rendimiento de materia seca de la parte foliar del tomate	44
3.3 Longitud del fruto de tomate	52
3.4 Diámetro del fruto de tomate	56
3.5 Solubilización de la roca fosfórica tratada	60
3.6 Análisis biológico de los Microorganismos Efectivos Naturales (MEN)	66
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
4.1 Conclusiones	70
4.2 Recomendaciones	71
RESUMEN	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO	79

INTRODUCCIÓN

La roca fosfórica (RF) o fosfato de Bayóbar, es una fuente natural de fósforo, posee un 30% de P_2O_5 ; sin embargo, ha sido considerado siempre como un fertilizante de segundo orden, debido a su largo período de solubilización, por tanto utilizada sólo en cultivos perennes, en suelos ácidos y raras veces en cultivos anuales. Hoy en día es sabido que los fertilizantes sintéticos producen daños en los ecosistemas del suelo, trayendo como consecuencia graves desequilibrios y pérdidas de fertilidad biológica y física del mismo. Los abonos sintéticos fosfatados ocasionan la muerte de microorganismos como bacterias, hongos y algas (**Brack 2000**), a esto se suma el elevado costo de fertilizantes sintéticos, cuyos precios están bordeando los S/ 200.00 por saco de 50 Kg. Estos hechos ponen en evidencia la necesidad de proponer tecnologías alternativas, las cuales existen y se encuentran en constante desarrollo; una de éstas es la utilización de "Microorganismos Efectivos Naturales" (MEN), para mejorar la

solubilidad de la RF. Estos MEN han sido desarrollados en la década de los ochenta por el Doctor Teruo Higa, Profesor de Horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinagua, Japón, estos microorganismos en la actualidad están siendo utilizados en la Agricultura, Ganadería, Medicina y otros.

La presente tesis ha sido diseñada teniendo en consideración la alta capacidad de descomposición y mineralización de los MEN sobre la materia orgánica, esta cualidad ha sido tomada en cuenta con el fin de reducir el período de solubilización de la RF, por acción de los microorganismos presentes en la solución de MEN; para cuyo efecto se utilizó el tomate como planta indicadora.

El fósforo, después del nitrógeno, es el nutriente inorgánico más requerido por plantas y microorganismos, siendo además en el suelo el factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de ser abundante tanto en formas inorgánicas como orgánicas. Los fosfatos inorgánicos aplicados como fertilizantes químicos también son inmovilizados en el suelo y como consecuencia no son solubles para ser aprovechados por los cultivos. Por lo tanto, se considera que la solubilización de distintas rocas fosfatadas y de otras fuentes de fósforo inorgánico por los microorganismos del suelo es una alternativa fundamental para incrementar la cantidad de fósforo disponible para las plantas.

La agricultura peruana es muy dependiente de los fertilizantes sintéticos fosforados, los cuales son importados a elevados precios; siendo el **fosfato diamónico** el de mayor demanda, equivalente a un 80%, seguido por el **superfosfato triple de calcio** con 18% y el resto, con 2%, aportado por otras fuentes fosfatadas incluida la RF (Ramírez 2000).

Frente a esta necesidad el abonamiento con RF, tratada con la solución de microorganismos, constituye una alternativa armoniosa con el medio ambiente al no causar ningún efecto negativo en ella a diferencia de los abonos sintéticos que ocasionan elevados costos de producción y un desequilibrio ambiental.

Se efectuó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Determinar el efecto de niveles crecientes de roca fosfórica sometida a diferentes tiempos de incubación en una solución de MEN, en la solubilización del fosfato de la roca fosfórica, y en el rendimiento de tomate.

Objetivos específicos:

1° Evaluar el efecto de la roca fosfórica, sometida a diferentes tiempos de incubación en una solución de MEN, en la solubilización del fósforo de la roca fosfórica.

2° Evaluar el efecto de niveles crecientes de roca fosfórica sometida a diferentes tiempos de incubación en una solución de MEN, en el rendimiento de tomate.

3° Determinar el tiempo de incubación en una solución de MEN y la dosis de roca fosfórica incubada, que optimicen el rendimiento de tomate.

I. MARCO TEÓRICO

1.1. LOS MICROORGANISMOS EFECTIVOS NATURALES (MEN).

Higa y Parr (1991), mencionan que los EM, es una abreviación de Effective Microorganisms (Microorganismos Eficaces), cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales, fisiológicamente compatibles unos con otros. Cuando el EM es inoculado en el medio natural, el efecto individual de cada microorganismo es ampliamente magnificado en una manera sinergista por su acción en comunidad. El EM, como inoculante microbiano, restablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementa la producción de los cultivos y su protección, además conserva los recursos naturales, generando una agricultura y medio ambiente más sostenible.

La **FAO (2007)**, menciona que los MEN son una mezcla de todos los tipos de microbios que ocurren de manera natural, como los fijadores de N,

solubilizadores de P, productores de hormonas/vitaminas, descomponedores de la celulosa, organismos controladores de enfermedades, etc. y que se emplean para elevar la productividad del cultivo.

Kuprat (2004), basándose en los estudios del Dr. Higa, menciona que los ME se emplea para nuestra salud, para suelos sanos, plantas sanas y animales sanos, para el compostaje, para la limpieza y purificación de aguas residuales y para el cuidado natural de plantas. También para la prevención de parásitos, y como producto de limpieza en casa.

Chujo (2004), indica que el EM significa Microorganismos Eficientes. EM es una combinación de varios microorganismos beneficiosos, de origen natural que se usan principalmente para los alimentos o que se encuentran en los mismos. Contiene organismos beneficiosos de 3 géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias de ácido láctico y levadura. Estos microorganismos efectivos, cuando entran en contacto con materia orgánica, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales, quelatos y antioxidantes. Cambian la micro y macro flora de la tierra y mejora el equilibrio natural de manera que la tierra que causa enfermedades se convierte en tierra que suprime enfermedades, y ésta a su vez tiene la capacidad de transformarse en tierra azimogénica. Los efectos antioxidantes promueven la descomposición de materia orgánica y aumenta el contenido de humus. Esto ayuda a mejorar el crecimiento de la planta y sirve como una excelente herramienta para la producción sostenible en la agricultura orgánica. Los microorganismos eficientes fueron desarrollados en forma líquida a lo largo de muchos años

por el Prof. Teruo Higa, de la Universidad de Ryukus, y el estudio se completó en 1982. Al principio, EM era considerado una alternativa para químicos agrícolas. Pero su uso ahora se ha extendido a aplicaciones en los campos ambiental, industrial y de la salud. Sin embargo, se debe enfatizar que EM no es ni un químico sintético ni una medicina.

Higa (1993), menciona que el acrónimo para “microorganismos eficaces”, EM, es el nombre colectivo que acuñó para un gran número de microorganismos responsables del proceso regenerativo dentro de las fuerzas dinámicas de la naturaleza que acabo de describir. Las bacterias fotosintéticas, levaduras, bacterias de ácidos lácticos y hongos son sólo algunos de los microorganismos anabióticos pertenecientes al grupo EM. Cuando una combinación de ellos está presente en el suelo y prolifera en número suficiente, conduce a un aumento en niveles de antioxidación y resulta una intensificación en concentraciones de energía. En otras palabras, su actividad instiga el proceso de regeneración, purificando el aire y el agua contenidos en el suelo e intensifica el crecimiento de las plantas.

Tipo de Microorganismos:

Higa y Parr (1991), Suquilanda (2001), mencionan que los principales grupos de microorganismos presentes en el EM son: Bacterias Fototrópicas, Bacterias Ácidolácticas, Levaduras y Actinomicetos:

Bacterias Fototrópicas. Son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos,

sustancias bioactivas y azúcares, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los metabolitos son absorbidos directamente por ellas, y actúan como sustrato para incrementar la población de otros Microorganismos Eficaces. Asimismo llevan a cabo una fotosíntesis incompleta, lo cual hace que la planta genere nutrimentos, carbohidratos, aminoácidos, sin necesidad de la luz solar, eso permite que la planta potencialice sus procesos completos las 24 horas del día.

Bacterias Ácido Lácticas. Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso. El ácido láctico ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca.

Levaduras. Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para Microorganismos Eficaces como bacterias ácido lácticas y actinomicetos.

Actinomicetos. Funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos (efectos

biostáticos y biocidas). Benefician el crecimiento y actividad del azotobacter y de las micorrizas.

Modo de Acción de los Microorganismos

Higa y Parr (1991), indican que, los diferentes tipos de microorganismos en el EM, toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los Microorganismos Eficaces para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas. Cuando los Microorganismos Eficaces incrementan su población, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se incrementa la actividad de los microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales, suprimiendo microorganismos patógenos.

Aplicaciones del ME:

Higa y Parr (1991), indican las siguientes aplicaciones del ME en la Agricultura:

El EM, como inoculante microbiano, reestablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementa la producción de los cultivos y su protección, además conserva los recursos naturales, generando una agricultura y medio ambiente más sostenible.

Entre los efectos sobre el desarrollo de los cultivos se pueden encontrar:

En semilleros:

- Aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico.
- Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.
- Incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas.

En las plantas:

- Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades.
- Consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades.
- Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos. Promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas meristemáticas.
- Incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.

En los suelos:

Los efectos de los microorganismos en el suelo, están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, químicas, biológicas y supresión de enfermedades. Así pues entre sus efectos se pueden mencionar:

- Efectos en las condiciones físicas del suelo: Acondicionador, mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduce su compactación, incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración del agua. De esta manera se disminuye la frecuencia de riego, tornando los suelos capaces de absorber 24 veces más las aguas lluvias, evitando la erosión, por el arrastre de las partículas.
- Efectos en las condiciones químicas del suelo: Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, solubilizándolos, separando las moléculas que los mantienen fijos, dejando los elementos disgregados en forma simple para facilitar su absorción por el sistema radical.
- Efectos en la microbiología del suelo: Suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo, por competencia. Incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen.

Funes (2007), menciona que en Matanzas, provincia cubana, se produce con gran velocidad los microorganismos milagrosos. Originalmente, un método japonés de mezclar microorganismos del bosque, fuentes energéticas como la miel y otros materiales, para después someterlos a una fermentación anaeróbica, resulta en colonias de microorganismos que tienen un efecto "milagroso". El producto de la fermentación microbiana es utilizado con varios fines entre los que se puede destacar: Bioestimulante para el rendimiento de los cultivos, acelerador de los procesos de descomposición en el compost o de la digestión anaeróbica para la producción de biogás, entre otras muchas aplicaciones.

Los ME y su acción solubilizante:

Higa y Parr (1991), indican que los ME tienen efectos en las condiciones químicas del suelo: Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, solubilizándolos, separando las moléculas que los mantienen fijados, dejando los elementos disgregados en forma simple para facilitar su absorción por el sistema radical.

La **FAO (2007)**, menciona que las Bacterias, hongos y actinomicetos pueden solubilizar formas insolubles de fósforo. Las bacterias solubilizadoras de P (BSP) incluyen *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas striata*, *Agrobacterium* sp; *Acetobacter diazotrophicus*, etc. Los hongos solubilizadores del P (HSP) incluyen: *Aspergillus awamori*, *Penicillium digitatum*, *Penicillium belaji*, levadura (*Saccharomyces* sp.) etc. Los actinomicetos solubilizadores de P (ASP) incluyen a *Streptomyces* sp, *Nocardia* sp. Generalmente los Microorganismos Solubilizantes del Fósforo secretan ácidos orgánicos que disuelven el fosfato insoluble. Estos microbios ayudan en la solubilización del P de la roca fosfórica y otras formas escasamente solubles del P del suelo, mediante la disminución del tamaño de sus partículas, reduciéndolas a formas casi amorfas.

Alexander (1980), menciona que los microorganismos no solo asimilan el fósforo, sino que también hacen solubles una gran proporción de ellos, liberando en cantidades superiores, actúan solubilizando sales de Fe, Al, Mg, Mn y otros fosfatos. El principal mecanismo de solubilización se debe a la producción microbiana de ácidos orgánicos, que disuelven los fosfatos inorgánicos haciéndolos asimilables para las plantas. Muchos

microorganismos del suelo producen ácido láctico, glicólico, acético, cítrico, fórmico, etc; que pueden solubilizar fosfatos tricálcicos y apatitos naturales.

Catedra IX (1982), indica que otros ácidos orgánicos como oxálico y tartárico son agentes quelantes capaces de acomplejar Ca^{+2} , Al^{+3} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , y Cu^{+2} , que estuvieron en forma de fosfatos, liberando por lo tanto el fósforo. Esta acción podría ser neutralizada por la presencia de CaCO_3 , siendo este proceso más activo en la zona de las raíces.

Paúl y Clark (1989), y Alexander (1980), señalan que los microorganismos llevan a cabo ciertas transformaciones del P, los cuales incluyen:

1. Alteración de la solubilidad de compuestos inorgánicos de P.
2. Mineralización de compuestos orgánicos con liberación de fosfato inorgánico.
3. Conservación del anión inorgánico aprovechable en compuestos celulares.
4. Lleva a cabo una oxidación y reducción de compuestos inorgánicos de P.

Coyne (2000), Indica que las bacterias que solubilizan activamente el fósforo representan un 10 % de la población microbiana del suelo. Se trata fundamentalmente de organismos de la rizosfera, como Bacillus, Micrococcus, Mycobacterium, Pseudomonas y algunos hongos. Existen 3 mecanismos básicos para solubilizar el fósforo mineral y hacer que resulte más disponible: la quelación, la reducción del hierro y la acidificación. Todos estos métodos desestabilizan los minerales en los que se encuentra el fósforo. Los compuestos orgánicos fabricados por los microorganismos, como el ácido oxálico, pueden quelar (unir) Ca^{+2} , Mg^{+2} y Fe^{+3} ,

desestabilizando así el mineral de fosfato y solubilizando el fósforo. La producción de ácido por parte de los microorganismos disuelve los minerales. De esta manera, los ácidos orgánicos, el ácido nítrico (producido por agentes nitrificantes), el ácido sulfúrico (producido por los tiobacilos) y el ácido carbónico (H_2CO_3) libera fósforo procedente de formas minerales.

1.2. EL FÓSFORO:

Buckman (1985), menciona que exceptuando al nitrógeno, ningún elemento es tan decisivo para el crecimiento de las plantas, como el fósforo.

Fassbender (1984), señala que el fósforo es relativamente estable en los suelos, no presenta compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden ser lixiviados y volatilizados. Esta estabilidad se debe a su baja solubilidad, que a veces causa deficiencias de disponibilidad para las plantas. Los fosfatos se originan del mineral "Apatita", que está constituido 90% de fosfato tricálcico, conteniendo F y Ca en forma de sal doble, cierta cantidad de ácido silíceo y en ciertas ocasiones Fe y Mn. Los cristales de apatita se encuentran en la mayoría de las rocas ígneas y metamórficas, que al meteorizarse, la apatita y su fosfato componente se incorporan al suelo.

La **FAO (2007)**, menciona que el fósforo es un macronutriente esencial para las plantas. Es absorbido por las raíces principalmente como $H_2PO_4^-$ y en menor grado como HPO_4^{2-} . El contenido en la materia seca de las plantas es 0.1-0.4%. Se menciona en el mercado de los fertilizantes como P_2O_5 (pentóxido de fósforo). El fósforo en las plantas está involucrado en la transferencia de energía, división celular, desarrollo de tejido y en el crecimiento. Es un constituyente del ADN, ARN, así como de las moléculas

portadoras de energía ADP, ATP, etc. Juega un papel importante en la promoción del crecimiento de la raíz, desarrollo del grano y la sincronización de la maduración. Después del N, es el nutriente más importante. La condición asociada con el nivel insuficiente de P en el sistema suelo - planta, se refiere como deficiencia de P. Retarda el crecimiento, cultivo, desarrollo de las raíces y demora la maduración. Los síntomas de deficiencia comienzan a aparecer en las hojas más viejas. Se desarrolla un color verde-azuloso a rojizo que puede conducir a tintes bronceados y color rojo. La deficiencia de fósforo en los suelos alcalinos neutros se indica por menos de 10 kg P.Ha⁻¹ en la capa arable, mediante la extracción con bicarbonato de sodio (Olsen).

Tume (2005), indica que el Fósforo presenta un símbolo P, número atómico 15, peso atómico 30.9738. El fósforo forma la base de gran número de compuestos, de los cuales los más importantes son los fosfatos. En todas las formas de vida, los fosfatos desempeñan un papel esencial en los procesos de transferencia de energía, como el metabolismo, la fotosíntesis, la función nerviosa y la acción muscular. Los ácidos nucleicos, que entre otras cosas forman el material hereditario (los cromosomas), son fosfatos, así como cierto número de coenzimas. Los esqueletos de los animales están formados por fosfato de calcio.

ELEMENTO	Fósforo
Número atómico	15
Valencia	+3,-3,5,4
Estado de oxidación	5
Electronegatividad	2,1
Radio covalente (Å)	1,06
Radio iónico (Å)	0,34
Radio atómico (Å)	1,28
Configuración electrónica	[Ne]3s ² 3p ³
Primer potencial de ionización (eV)	11
Masa atómica (g/mol)	30,9738
Densidad (g/ml)	1,82
Punto de ebullición (°C)	280
Punto de fusión (°C)	44,2
Descubridor	Hennig Brandt en 1669

El fósforo en el suelo.

Black (1975), indica que el fósforo en el suelo se encuentra casi exclusivamente como ortofosfato, derivándose todos los compuestos de ácido fosfórico. Puede clasificarse como orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza en el que se halla.

La fracción inorgánica puede clasificarse por su naturaleza física, mineralógica o química y/o por combinación de ellas en formas cristalizadas con el Fe, Al, F, y Ca; así como fosfatos amorfos y ocluidos.

Tisdale y Nelson (1987), indica que la fracción orgánica se halla en el humus, de acuerdo a su estructura química, forma fosfatos orgánicos, como: Fosfolípidos, fosfoproteínas, fosfatos metabólicos, fosfatos de inositol y ácidos nucleicos.

Fassbender (1984), menciona que factores como la temperatura, precipitación, grado de desarrollo de los suelos, acidez, actividad biológica;

determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo.

El fósforo en la solución del suelo.

Domínguez (1989) y Estrada (1986), mencionan que el fósforo en la solución del suelo se encuentran en cantidades muy pequeñas, de 0.03 a 0.30 ppm, siendo las formas importantes: los fosfatos mono y dibásico y en menor importancia los ortofosfitos; de modo que en los suelos pobres deben renovarse para cubrir las necesidades de las plantas.

Thomson (1974), La concentración de iones fosfato en la solución suelo están relacionados con el pH del medio. Entre 2 y 7, predominan los iones H_2PO_4^- y entre 7 a 12, iones HPO_4^{2-} . La concentración del fosfato monobásico es máximo a pH 4 y mínimo a pH de 9, lo contrario ocurre con el fosfato dibásico. Los dos iones se encuentran en equilibrio a un pH de 7.2. Entre el pH 5.5 a 6.0, la solución acuosa del suelo contiene la máxima concentración de fosfato monobásico; estando en equilibrio con los fosfatos de Fe, Al y Ca.

El fósforo en la planta.

a. Absorción del ácido fosfórico.

Dominguez (1989), afirma que las plantas absorben elementos nutritivos por contacto directo de las raíces con las partículas sólida del suelo, pequeñas cantidades de fósforo; pero lo hacen mayormente por difusión de la solución del suelo en forma de ión ortofosfato monobásico y en menor cantidad como ión ortofosfato dibásico. También pueden absorber moléculas de iones fosfato

orgánicos.

Black (1975), señala que la absorción de iones ortofosfato, están influenciados por otros aniones minerales; disminuye cuando aumenta en la solución suelo las concentraciones de los iones NO^{-3} y SO^{-4} , aumenta en presencia del catión NH^{+4} .

b.- Distribución del ácido fosfórico en la planta.

Russell (1968), menciona que el ácido fosfórico es un componente esencial de las plantas, se encuentra combinado con otras sustancias o con cuerpos simples, formando fosfatos minerales o en la mayoría de los casos son sustancias complejas, que forman combinaciones orgánicas (Lecitinas, fitinas, ácido nucleico, fosfolípidos y metabolitos fosforilados). El ácido fosforito abunda en los órganos jóvenes de las plantas, se almacena en las semillas en forma de sustancias de reserva. Las plantas lo absorben sobre todo durante el período de crecimiento activo y al final de la vegetación, se aprecia el traslado del ácido fosfórico hacia los órganos de reserva de la planta.

Domínguez (1989), señala que entre los compuestos frecuentes destaca el Di y trifosfato de adenosina (ADP, ATP), dinucleótido de adenina, nicotinamida.

c. Rol del fósforo en la planta.

Tisdale y Nelson (1987), declaran que los compuestos citados anteriormente y otros orgánicos fosforados, son los responsables de la mayoría de los cambios de energía en los procesos de vida aeróbicos y anaeróbicos. Estos compuestos fosfóricos son esenciales para la fotosíntesis, la interconversión de carbohidratos y compuestos afines: glicólisis, metabolismo del azufre

oxidaciones biológicas y otros procesos. El fósforo es un elemento esencial y constituyente de los procesos de transferencia de energía tan vitales para la vida y en crecimiento de las plantas. El fósforo en la planta, constituye e interviene favorablemente en las siguientes funciones:

- División celular y crecimiento.
- Floración, Fructificación y formación de la semilla.
- Desarrollo radicular.
- Robustecimiento de la paja de los cereales, contrarrestando el acame.
- Mejora la calidad de las cosechas.
- En las leguminosas favorece el desarrollo de los nódulos.
- Incrementa el peso y el tamaño de los cultivos que se explota por sus raíces y tubérculos.
- Desarrollo rápido y vigoroso de las plantas jóvenes.
- Confiere a las plantas precocidad al acelerar la floración y fructificación.

Raymond (1984), indica que la función de fósforo en el tomate, principalmente estimula la formación y el creminiento temprano de las raíces, importante en la formación de las semillas.

d. Síntomas de deficiencia de fósforo.

Devlin (1970), señala que la deficiencia en fósforo, puede provocar en las plantas, la caída prematura de las hojas, aparición de pigmentación roja o púrpura. Presencia de zonas necróticas sobre las hojas, pecíolos, frutos; con un aspecto achaparrado y débil de las plantas.

Devlin (1970), Black (1975), Tisdale y Nelson (1987), expresan, que la deficiencia en fósforo en los cultivos, muestran los siguientes síntomas:

- Lento crecimiento y desarrollo de la planta.
- Poco desarrollo del xilema y floema.
- Escasa floración y fructificación.
- Retrazo en la maduración de las cosechas.
- Las hojas, muestran una coloración verde oscura con matices rojizos (antocianina).
- Menor peso y tamaño de las plantas.
- Tallos pequeños, delgados y débiles (maíz).
- Los granos pequeños no germinan.
- Bajo rendimiento en grano, frutos y semillas.

Raymond (1984), indica que los síntomas de deficiencia de fósforo en tomate se presentan en las hojas de un color rojo a púrpura y retarda la división celular. Su exceso provoca la inmovilización de otros elementos esenciales.

1.3. ROCA FOSFÓRICA O FOSFATOS NATURALES:

La **FAO (2007)**, menciona que es un mineral que sirve como materia prima (fuente de P) para la producción de fertilizantes de fósforo. Consiste en varios tipos de apatitas (fosfato tricálcico) y contiene entre 15-35% P_2O_5 . La calidad de RF depende de su edad, tamaño de partícula, grado de sustitución en la estructura del cristal y solubilidad en los ácidos. Las rocas reactivas también pueden emplearse directamente como fertilizantes de P en los suelos ácidos. El fosfato rocoso también contiene varios micronutrientes, con un promedio de 42 ppm de Cu, 90 ppm de Mn, 7 ppm

de Mo, 32 ppm de Ni y 300 ppm de Zn. El contenido de cadmio de la roca fosfórica varía desde 1 a 87 mg/kg (con un contenido de P_2O_5 de 30%, el Cd también puede expresarse como 8 - 665 mg/kg de P o 3 - 290 mg/kg de P_2O_5). En los fosfatos rocosos para la aplicación directa, el contenido de Cd (un metal pesado potencialmente tóxico) no deberá exceder preferiblemente los 90 mg de Cd/kg de P_2O_5 (o alrededor de 27 mg/kg de RF).

Thompson (1966), menciona que la roca fosfatada, se encuentra bajo la forma de fosfato tricálcico; contiene de 18 % a 81 % de fosfato tricálcico y pequeñas cantidades de compuestos nitrogenados. Posiblemente se haya formado como consecuencia de los procesos químicos y biológicos del despojos de los animales prehistóricos, acumulados en grandes cantidades, dado que los dientes y huesos aún pueden reconocerse en los yacimientos. Tales acumulaciones podrían haberse formado en los depósitos marinos, que posteriormente quedaron al descubierto, cuando los cambios de clima y otras alteraciones violentas, causaron la muerte súbita de gran número de animales.

Catedra IX (1982), indica que la riqueza de la roca fosfórica en P_2O_5 , es muy variable así puede alcanzar valores de 26 a 38 %. Según Primo (1973) y Rodríguez (1982), con un promedio de 30% de P_2O_5 .

Alarcón (1993), basado en fuentes del Laboratorio Químico de la Universidad de Piura, menciona que en el desierto de Sechura (Piura), se encuentra ubicada uno de los yacimientos más ricos del mundo. Posee una reserva de unos 4500 millones de toneladas, con una ley de 8 a 12 % de P_2O_5 ; dentro de ésta, cuenta unos 2000 millones de toneladas, con una concentración de 25 a 28 % de P_2O_5 .

Esta reserva geológica es de origen marino, se halla mezclada con capas de arena y diatomita, otras sales minerales marina. En la Unidad de Producción de Bayóbar, se obtiene mediante procesos físicos naturales, el fosfato concentrado denominado "FOSBAYOBAR" tiene una capacidad de trabajo de 2000 Tn/año de producción de roca fosfatada, de 30% de P_2O_5 , que por flotación y lavado se concentra a 30.5% de P_2O_5 . La molienda es a malla de 200 Mesh; el Fosbayóvar es el más reactivo del mundo, el 100% de fósforo soluble total en la tercera extracción en ácido cítrico 2%.

Sus características y composición son las siguientes:

Aspecto	: Arenoso.	
Color	: Marrón claro.	
P_2O_5	: 30.5%, malla 100 – 60%	
CaO	: 46.9 %	
Azufre	: 1.7 %	
Magnesio	: 0.6 %	
Materia Orgánica	: 3.2 %	
K_2O	: 0.1 %	
SiO_2	: 6.08 %	
SO_4	: 5.0 %	
Al_2O_3	: 0.79%	
F	: 2.98%	
<u>Solubilidad:</u>		<u>%</u>
P_2O_5 Sin pulverizar, soluble en ácido cítrico al 2%		12.1
P_2O_5 Pulverizado, soluble en ácido cítrico al 2%		15.3

Fuente: Laboratorio Químico de U. P. de Bayóbar.

Fassbender y Bornemisza (1987), señalan que en América del Sur los depósitos de roca fosfórica, se hallan concentrados en Brasil, Venezuela, Chile y Perú (Sechura – Piura); siendo la riqueza de P_2O_5 del fosfato de

sechura o fosfato de bayóbar de 25 a 28 %.

La **FAO (2007)**, menciona que la apatita es el nombre común del principal compuesto suministrador de P en las rocas fosfóricas o fosfatos rocosos (usado como materia prima en la elaboración de fertilizantes de fosfato). Fórmula general: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6 (\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})_2$. Según la dominancia del F, Cl u OH en la estructura del cristal de apatita, se conoce como fluorapatita, cloroapatita o hidroxapatita.

Tume (2005), sobre el origen de los fosfatos de Bayóvar indica que son; de origen sedimentario marino. Se trata de depósitos secundarios originados por sedimentos de origen animal y vegetal, peces y algas hace millones de años. El depósito de Sechura presenta una estructura de capas sedimentarias uniformes, casi horizontales y próximas a la superficie, lo que facilita la extracción de roca.

Finck (1985) y Catedra IX (1982), menciona que la roca fosfórica se compone de diversos apatitos (fósforos de calcio), de origen en parte magmático y en parte orgánico; pero generalmente son de origen marino. Los cuales dieron lugar a la acumulación de apatitas a partir de minerales primarios o restos de animales que contengan fósforo, luego de procesos climáticos extremos y transformaciones en la corteza terrestre.

Primo (1973), menciona que una gran mayoría de estos yacimientos está formada por gránulos pequeños, aglomerados con carbonato de calcio, arcilla y sílice. En otras regiones se han transformado en roca dura. La roca fosfórica tiene la siguiente composición: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{X}$; donde X puede ser flúor, cloro, OH^- o $1/3$ de $\text{CO}_3^{=}$, siendo el mineral más frecuente la fluorapatita, fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), fluoruro cálcico (CaF). Casi todos

los fosfatos de roca contienen impurezas tales como la materia orgánica, óxidos de Fe y Al, carbonatos de calcio, magnesio y fluoruros.

Fassbender (1984) y Bornemisza (1982), indican que la solubilidad de la roca fosfórica es ínfima. En estudios realizados se han encontrado gran dependencia del pH, el cual se explica a partir del producto de solubilidad de las apatitas hidroxidadas. La velocidad de disolución varía con el grado de finura y el grado de calcinación.

Finck (1985) y Rodríguez (1982), indican que cuando la roca fosfórica se utiliza como fertilizante su eficiencia depende de ciertas características del suelo; como del contenido de M.O. ; del contenido, formas y disponibilidad de fosfatos nativos; de su reacción, del contenido de Fe y Al, de la humedad; temperatura; cultivos, etc. Así mismo de las características inherentes de la roca fosfórica como son: contenido de fosfatos, su solubilidad, su disolución, su localización, dosis, finura y su dureza.

Bear (1963), Black (1975), Domínguez (1989), Tisdale Y Nelson (1991), mencionan que cuanto más finamente pulverizado se halle la roca fosfórica mayor será la superficie expuesta a la acción disolvente del agua que se encuentra en el suelo y de los ácido de la materia orgánica que se hallan asociados con ellas, así mismo dará mejores resultados cuando el fosfato finamente pulverizado se mezcla bien con el suelo.

Rodríguez (1982); Gross (1986), Indican que la Roca fosfórica es una materia prima indispensable, para la industria del ácido fosfórico. La forma usual de producir fertilizantes fosfatados es tratando la roca fosfatada con ácido sulfúrico o fosfórico; este hecho hace que se incremente el costo de este fertilizante.

Tume (2005), sobre las ventajas de la roca fosfórica, menciona que son

fosfatos solubles que se aplican directamente a los suelos ácidos de la amazonía. El fosfato fomenta el enriquecimiento del suelo, facilita la formación de las raíces, estimula la floración y la formación de la semilla. Tendríamos que señalar que es el fosfato natural más reactivo y de alto contenido de micronutrientes (calcio, azufre y magnesio). Tiene un alto poder residual, óptimo para suelos ácidos, mejora el pH del suelo. Por su solubilidad es atractivo en el mercado de abonos naturales. Esta es una ventaja comparativa que tiene que convertirse en ventaja competitiva.

1.4. EL CULTIVO DE TOMATE:

INFOAGRO (2008), El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. El tomate en fresco se consume principalmente en ensaladas, cocido o frito. En mucha menor escala se utiliza como encurtido. También indica que el origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecería como mala hierba entre los huertos.

Brack (2003), describe al tomate como una herbácea robusta más de 1 m. de alto, tallos puberulentos hasta pilosos, hojas imparipinnadas, bipinnada, inflorescencia en racimos axilares, flores amarillas, fruto en baya, diversas formas según las variedades, color rojo o amarillo al madurar, muy jugoso y

con muchas semillas; semillas ovales, aplanadas color crema. Esta distribuido en la costa, sierra y amazonía. Su uso es principalmente como alimento, se consume el fruto fresco en ensaladas y jugos, en guisos y mermeladas; en salsas. También tienen otros usos como el medicinal, pesticida (el agua de la cocción de las hojas frescas).

Hayward (1953), señala que aparte de sus usos comerciales la planta de tomate puede ser considerada como el “Cobayo” del reino vegetal, debido a su vasto empleo con propósito experimental en problemas fisiológicos, patología y genética; la razón para esto estriba en la facilidad con que la planta puede ser propagada, y en rusticidad y su adaptabilidad a una amplia gama de condiciones ambientales.

Taxonomía y Morfología.

INFOAGRO (2008), indica lo siguiente:

-Familia: *Solanaceae*.

-Especie: *Lycopersicon esculentum* Mill.

-Planta: perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas).

-Sistema radicular: raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera hacia dentro encontramos: epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, cortex y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos

especializados en el transporte de los nutrientes).

-Tallo principal: eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales.

-Hoja: compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal.

-Flor: es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), generalmente en número de 3 a 10 en variedades comerciales de tomate calibre M y G; es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando

lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del cortex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.

-Fruto: baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo, o bien puede separarse por la zona peduncular de unión al fruto.

Requerimientos edafoclimáticos:

SIA-Huaral (2008), menciona, los siguientes requerimientos para tomate:

Temperatura: La temperatura óptima fluctúa entre 20 y 30° C durante el día y entre 1 y 17° C durante la noche. Las temperaturas mayores a 30° C afectan la fructificación.

Humedad Relativa: La humedad relativa óptima oscila entre 60 y 80%. La humedad relativa alta favorece el desarrollo de enfermedades, el agrietamiento del fruto y dificulta la fecundación.

Luminosidad: La poca luminosidad afecta el proceso de floración, fecundación y el desarrollo vegetativo de la planta. La luminosidad mínima es de 1500 horas luz/año.

Suelos: El mejor suelo para el cultivo de tomate es el suelto de textura silíceo arcillosa y rico en materia orgánica, con pH entre 5.5 y 7.2. No tolera el encharcamiento. Lo más destacable en cuanto al suelo es que se trata de una especie con cierta tolerancia a la salinidad. De ahí que admita el cultivo en suelos ligeramente salinos o el riego con agua algo salitrosa.

Agua: Los requerimientos de agua varían dependiendo la variedad entre 300 y 1000 mm.

Altitud: Se puede cultivar desde 0 a 2800 metros sobre el nivel del mar.

Cásseres (1980), señala que requiere un período mayor de 110 días con temperatura óptima mensual para su desarrollo de 21 a 24 ° C, aunque puede producirse entre 18 – 25 ° C. Altas temperaturas y vientos secos dañan las flores el fruto no cuaja bien. La temperatura nocturna puede ser determinante en el cuajamiento, pues debe ser fresca entre 15 a 22 ° C y menor a 15 ° C de noche o 37 ° C de día evitan la polinización. La temperatura óptima para el desarrollo del mejor color rojo de los frutos está entre los 18 – 24 ° C.

1.5. EL DISEÑO 03 DE JULIO (D3J):

Características:

Tineo (2006), manifiesta que el Diseño 03 de julio, es un diseño de superficie de respuesta, cuyo análisis estadístico principal consiste en ajustar a una función de acuerdo con el modelo de segundo orden: $Y = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ii} X_i^2 + \sum b_{ij} X_i X_j + e$. El Diseño 03 de julio está formado por un conjunto de tratamientos provenientes de un factorial completo o fraccional 2^K , (K representa el número de factores), a los que se agrega otros tratamientos para poder estimar todos los coeficientes de un polinomio de 2do. orden con K factores. Los

tratamientos agregados son simétricos alrededor del centro del factorial, y generan un diseño COMPUESTO CENTRAL. Este diseño se construye sumándole $4K + 1$ combinaciones al factorial 2^K .

Los 2^K tratamientos (factorial), se construyen con los niveles codificados (-2, +2) de cada factor. Además del factorial 2^K existe el llamado tratamiento central, correspondiente al centro del diseño y en términos codificados es la combinación (0, ..., 0). El resto $4K$ (tratamientos radial), se colocan a distancias $\pm X_i$ del centro del diseño, su representación codificada viene dada por $(\pm X_i, 0, 0) \dots (0, 0, \pm X_i)$.

El diseño puede subdividirse en 3 partes. Ejemplo para 2 factores:

1. La parte factorial del diseño para este caso sería 2^K

X_1	X_2
-2	-2
2	-2
-2	2
2	2

2. Los 8 puntos adicionales incluidos para formar un diseño compuesto central, le da la característica de rotabilidad. La figura que forman estos puntos se llama ESTRELLA: $4K$.

X_1	X_2
-2	0
-1	0
1	0
2	0
0	-2
0	-1
0	1
0	2

3. El punto central

$$\begin{array}{cc} X_1 & X_2 \\ 0 & 0 \end{array}$$

El diseño permite evaluar 5 niveles en cada factor, como:

N°	Nivel codificado (X_i)	Nivel del factor (Z_i)
1	-2	Mínimo
2	-1	Bajo
3	0	Promedio
4	1	Alto
5	2	Máximo

Los niveles codificados están establecidos por la estructura del Diseño; los niveles reales los propone el investigador, según la naturaleza del problema.

Análisis estadísticos

Tineo (2006), menciona que el Diseño 03 de Julio, permite realizar dos tipos de análisis estadísticos: a) el análisis de variancia, para determinar el efecto de cada tratamiento sobre la producción del cultivo, y b) el análisis de regresión, para determinar el modelo polinomial de segundo grado que explica el comportamiento de las variables sobre la producción del cultivo. Por la estructura de los tratamientos, el D3J permite realizar otros cálculos, que ayudan a explicar la importancia de la ausencia o presencia de un elemento en el suelo y su repercusión en el crecimiento del cultivo; así como el aprovechamiento de nutrientes por la planta, cuando estos se aplican al suelo en diferentes cantidades.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN:

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en Ayacucho a 2750 m.s.n.m., cuyas coordenadas son 13°09'56" Latitud sur y 74°13'40.2" Longitud oeste.

2.2. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO.

2.2.1 Solución Natural con Microorganismos Efectivos Naturales (MEN).

Para contar con la solución natural con MEN, se procedió con su captura, bajo una técnica sencilla, que consistió en colocar frascos con arroz cocido, cubierto con un pedazo de tela nylon, en una compostera del área de suelos, durante 2 semanas. Luego de este período se extrajo

el arroz (impregnado de microorganismos), se licuó y se mezcló con 1 litro de melaza y 3 litros de agua, sometiéndose a una fermentación anaeróbica durante una semana, obteniéndose así la Solución Madre de MEN, con un pH de 3.5 (Figura 2.1).

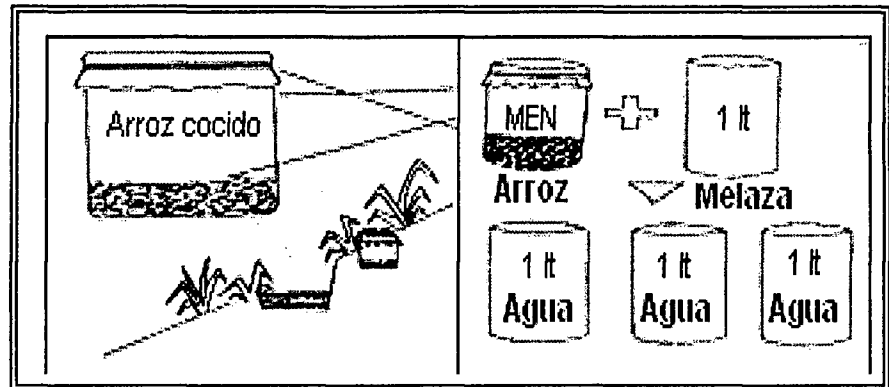


Figura 2.1: Proceso de captura y preparación de la solución madre de MEN. (Suquilanda 2001).

2.2.2 Roca fosfórica incubada en MEN.

Una vez obtenida la solución madre de MEN, se procedió a incubar la roca fosfórica (RF) en 5 envases (Figura 2.2). El primero se incubó durante 5 días, el segundo durante 10 días, el tercero durante 15 días y el cuarto durante 20; también se incluyó un factor que consistió en utilizar la roca en su estado original (sin incubación, equivalente a 0 días de incubación).

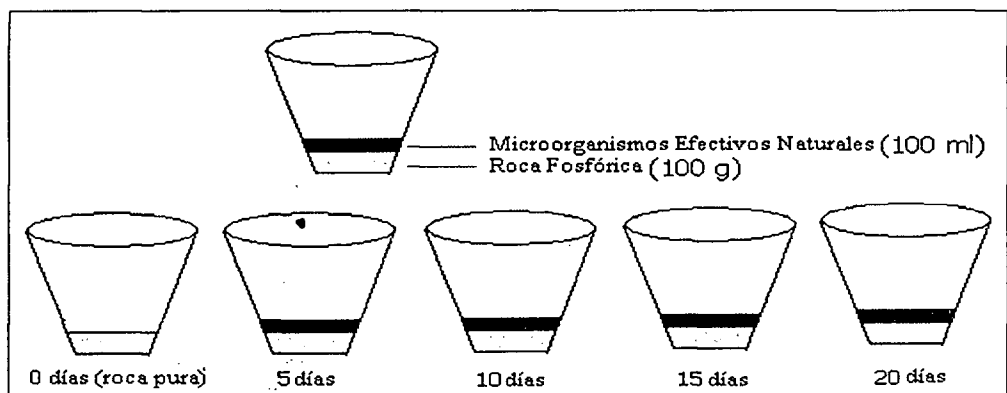
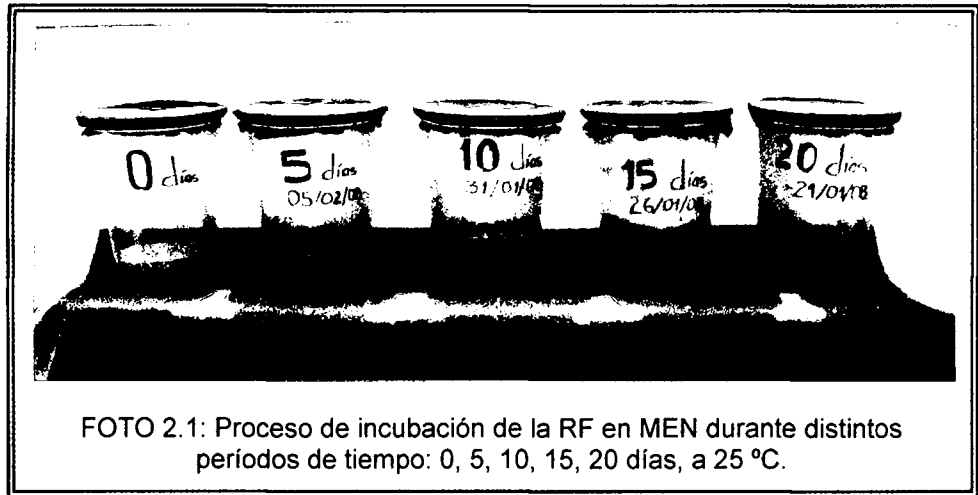


Figura 2.2: Días de incubación de roca fosfórica en una solución madre de MEN.



Las proporciones de RF y MEN utilizadas en la incubación fueron de 100 g y 100 ml respectivamente, en cada período de incubación (Proporción 1:1). Luego de someter la RF a la acción solubilizadora de los MEN durante diferentes períodos de tiempo, se procedió a su respectivo secado al medio ambiente y bajo sombra, para su posterior aplicación a las macetas.

2.2.3 Suelo Utilizado en el Experimento:

El suelo se recolectó de alrededores del invernadero, con topografía ligeramente plana y microtopografía ligeramente ondulada, suelo de color claro, con un pH de 8.2, con regular drenaje superficial, con profundidad de 10 a 25 cm. La vegetación natural de la zona esta compuesta por Huarango, molle, cabuyas, tunales. Cuyo análisis de fósforo fue realizado a través del método de Olsen.

Cuadro N° 2.1: Análisis químico del suelo experimental

pH	M.O.	Nt	Elementos disponibles (ppm)		
			P	K	% CaCO ₃
8,22	4,79	0,23	69,91	356,8	1,68

Fuente: Laboratorio de suelo y análisis foliar, "Nicolás Roulet" de la UNSCH.

2.2.4 Macetas:

Se utilizó como macetas, baldes de 18 Kg de capacidad con 38 cm. de alto y 28 cm. De diámetro, los cuales presentan agujeros para favorecer el drenaje de agua. En el fondo de cada maceta se colocó una capa de 2 cm. de grava; sobre esta grava se depositó 18 Kg. de suelo seco al aire libre y tamizado con una malla de 7.0 mm de diámetro.

2.2.5 Fertilización:

Todas las Unidades Experimentales recibieron un abonamiento básico de 120-00-80 de NPK, que consiste en 2.35 g de Urea y 1.2 g de KCl por maceta.

La fuente de fósforo fue la Roca Fosfórica incubada en distintos períodos según los tratamientos, los cuales al mismo tiempo se aplicarán en dosis crecientes (Según el D3J), en las respectivas macetas; mezclándolas con la mitad superior del suelo de cada una de las macetas.

2.2.6 Planta Indicadora (Cultivo):

Se utilizó tomate de la variedad "Río Grande" como planta indicadora, el cual mostró a través de su rendimiento de fruto, rendimiento en materia seca de la parte foliar, longitud polar y diámetro del fruto, el grado de solubilización de la roca fosfórica.

2.2.7 Almacigado y Transplante:

Días antes a la preparación de los materiales, se almacigó las semillas de tomate. Una vez que las plántulas llegaron a su adecuado estado de

desarrollo se procedió con su transplante en las respectivas macetas.

2.2.8 Riego:

Se realizó un riego interdiario, utilizando agua potable, manteniendo la humedad a capacidad de campo.

2.3. DISEÑO METODOLÓGICO:

2.3.1. Diseño experimental y análisis estadístico.

El experimento se condujo utilizando el Diseño 03 de Julio (D3J), para dos factores; los niveles a emplearse en cada factor se indican en el cuadro N° 2.2, se plantean tomando como referencia trabajos de investigación anteriores.

Cuadro N ° 2.2: Tiempo de Incubación (Días) y Nivel de Roca Fosfórica (Kg.Ha⁻¹)

Nivel del factor en estudio			
N°	Xi Codificado	Tiempo de Inc. (Días)	Nivel de RF (Kg.Ha ⁻¹)
1	-2	0	50
2	-1	5	300
3	0	10	550
4	1	15	800
5	2	20	1050

La estructura de los tratamientos, de acuerdo al D3J es tal como se indica en el cuadro N ° 2.3

Cuadro N ° 2.3: Estructura de tratamientos en el D3J, para 2 factores.

Trat.	Xi Codificado		Tiempo Incubación. (días)	Nivel de Roca Fosfórica (Kg.Ha ⁻¹)
	X1	X2		
1	-2	-2	0	50
2	2	-2	20	50
3	-2	2	0	1050
4	2	2	20	1050
5	-2	0	0	550
6	-1	0	5	550
7	1	0	15	550
8	2	0	20	550
9	0	-2	10	50
10	0	-1	10	300
11	0	1	10	800
12	0	2	10	1050
13	0	0	10	550

Los tratamientos se distribuyeron en diseño completamente al azar (DCA). Cada tratamiento se repitió tres veces, de manera que el experimento contó con 39 unidades experimentales (13 unidades por repetición).

Cuadro N ° 2.4: Dosis de Roca Fosfórica y su equivalente en las macetas experimentales.

Dosis RF (Kg.Ha ⁻¹)	mg RF/maceta (18 Kg)
50	450
300	2 700
550	4 950
800	7 200
1 050	9 450

2.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

2.4.1. Rendimiento de frutos:

Se tomó el peso de los frutos obtenidos en cada unidad experimental, utilizando una balanza analítica.

2.4.2. Materia seca de la parte aérea.

Se realizó en base al rendimiento de materia seca de la parte foliar, una vez concluida la etapa fenológica del cultivo de tomate se procedió con el corte desde el cuello de la planta, para luego llevarlo a la estufa durante 72 horas a una temperatura constante de 70 ° C. Luego se pesó la cantidad de materia seca en cada unidad experimental, utilizando una balanza analítica.

2.4.3. Determinación del fósforo disponible en el incubado

Pasado los respectivos períodos (días) de incubación de la roca fosfórica, se realizó el análisis químico, para determinar la cantidad de P-disponible, liberado por el efecto solubilizante de la solución de los MEN.

2.4.4. Longitud y diámetro de los frutos:

Se midió con una regla simple la longitud polar y el diámetro ecuatorial de los frutos de tomate.

Con los resultados de las variables evaluadas, se realizaron los análisis de variancia y análisis de regresión correspondientes, utilizando la metodología descrita por Tineó (2006).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RENDIMIENTO DE TOMATE – FRUTO.

En el cuadro N ° 01 del anexo se presenta los resultados del rendimiento de tomate fruto, en la que se observa que todos los tratamientos superan al testigo; correspondiendo el valor más alto al Tratamiento 4 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada por 20 días) con un rendimiento de 1028.62 g/maceta; mientras que el rendimiento más bajo se obtuvo con el Tratamiento 1 (Testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar), con un rendimiento de apenas 176.717 g/maceta. También se debe destacar el hecho de que con el Tratamiento 3 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) sólo se consiguió un rendimiento de 370.52 g/maceta; estos resultados permiten afirmar que hubo un efecto positivo de la solución de microorganismos efectivos naturales (MEN) en la solubilidad de la roca fosfórica (RF), que se traduce en mejores rendimientos de fruto de tomate.

El cuadro 3.1 de ANVA muestra diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos. Esto demuestra su influencia en la producción de tomate:

Cuadro 3.1: ANVA del rendimiento de frutos en tomate:

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Tratamiento	12	3240147.293	270012.274	9.16	< .0001
Error	26	766415.384	29477.515		**
Total	38	4006562.677			

C.V. = 26.06%

Para determinar los contrastes de las medias de cada uno de los tratamientos se realizó la prueba de Duncan al 0.05 (Cuadro 3.2). Esta prueba señala que los rendimientos más altos corresponden a los tratamientos T4 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días), T8 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días), T12 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), T11 (800 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), T7 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 15 días), T2 (50 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días), y T13 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), en los cuales, con excepción del tratamiento T2, se aplicaron entre 550 y 1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada en la solución de MEN por 15 y 20 días excepto el T11, T12 y T13 (en los que se incubó solo por 10 días). Por otro lado los rendimientos más bajos se obtuvieron con los tratamientos: T10 (300 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), T3 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar), T9 (50 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), y T1 (testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) en éstos, la roca fosfórica se incubó por un período igual o menor a los 10 días, además el nivel de abonamiento con

RF es bajo.

Cuadro 3.2. Prueba de Duncan (0.05) para el rendimiento promedio de tomate – fruto en g/maceta.

Tratamiento	Rendimiento promedio de tomate – fruto g/maceta	Grupo Duncan (0.05)
T4 (2,2)	1028.6	a
T8 (2,0)	981.7	a
T12 (0,2)	942.7	a
T11 (0,1)	883.2	a
T7 (1,0)	857.7	a
T2 (2,-2)	841.3	a
T13 (0,0)	832.0	a
T6 (-1,0)	501.8	b
T5 (-2,0)	497.4	b
T10 (0,-1)	416.2	b c
T3 (-2,2)	370.5	b c
T9 (0,-2)	234.4	b c
T1 (-2,-2)	176.7	c

Los resultados sugieren que la solución madre de MEN tuvo un efecto positivo en la solubilización de la RF; asimismo una mayor cantidad de RF incubada aplicada en el cultivo, se traduce en mayores rendimientos. Esta respuesta probablemente se deba a que una mayor cantidad de RF incubada (en una solución de MEN) contiene una mayor cantidad de fósforo disponible para la planta, lo que permite que el cultivo aproveche una mayor proporción de este nutriente mineral.

En los resultados se pueden hacer comparaciones muy interesantes; como la de los tratamientos con alta dosis de abonamiento T4 (incubada por 20

días), T12 (incubada por 10 días) y T3 (sin incubar), en los que los rendimientos presentan una amplia variación, correspondiendo los rendimientos más altos (1028.6 g y 942.7 g) a los tratamientos T4 y T12 respectivamente en comparación al T3 que apenas llega a 370.5 g. Asimismo, al comparar los tratamientos que recibieron una dosis media de abonamiento: T8 (incubado por 20 días), T7 (incubado por 15 días), T13 (incubado por 10 días), T6 (incubado por 5 días), T5 (sin incubar), se observa que los 3 primeros alcanzaron rendimientos de 981.7 g, 857.7 g y 832.0 g respectivamente, superando ampliamente a los tratamientos T6 y T5 con 501.8 g y 497.4 g respectivamente. Al comparar los Tratamientos con niveles bajos de abonamiento como son el T2 (incubado por 20 días) y T1 (sin incubar), el primero alcanzó un rendimiento de 841.3 g frente a los 176.7 g conseguidos por el no incubado. De estas comparaciones se desprende que todos los tratamientos que muestran elevados valores, han sido tratados con MEN teniendo una gran influencia positiva en los tratamientos, incluso en los que poseen una dosis baja de abonamiento. Esta es una de las mejores evidencias que permite afirmar que la solución de MEN tiene un efecto solubilizante en la RF. **Higa y Parr (1991)**, mencionan que los microorganismos tienen efectos en las condiciones químicas del suelo: Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, solubilizándolos, separando las moléculas que los mantienen fijos, dejando los elementos disgregados en forma simple para facilitar su absorción por el sistema radical. La **FAO (2007)**, menciona que las bacterias, hongos y actinomicetos pueden solubilizar formas insolubles de fósforo. Las bacterias solubilizadoras de P (BSP) incluyen *Bacillus megatherium* var.

phosphaticum, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas striata*, *Agrobacterium sp*; *Acetobacter diazotrophicus*, etc. Los hongos solubilizadores del P (HSP) incluyen: *Aspergillus awamori*, *Penicillium digitatum*, *Penicillium belaji*, levadura (*Saccharomyces sp.*) etc. Los actinomicetos solubilizadores de P (ASP) incluyen a *Streptomyces sp*, *Nocardia sp*. Generalmente los Microorganismos Solubilizantes del Fósforo secretan ácidos orgánicos que disuelven el fosfato insoluble. Estos microbios ayudan en la solubilización del P de la roca fosfórica y otras formas escasamente solubles del P del suelo, mediante la disminución del tamaño de sus partículas, reduciéndolas a formas casi amorfas. **Coyne (2000)**, Indica que las bacterias que solubilizan activamente el fósforo representan un 10 % de la población microbiana del suelo. Se trata fundamentalmente de organismos de la rizosfera, como *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas* y algunos hongos.

En los resultados se evidenciaron mayor rendimiento de tomate – fruto en aquellos tratamientos con mayor tiempo de incubación de RF el cual coincide con estudios de **Valenzuela (2002)**, quien indica que en la solubilización de roca fosfórica carolina del norte con cepas de *Aspergillus niger*, se requirió un período de incubación bastante prolongado para obtener los niveles más altos de solubilización. Asimismo indica que el desarrollo de la biomasa fúngica necesito un período de incubación considerablemente largo para incrementar el fósforo soluble. Este fenómeno se le atribuyó al período necesario para que los hongos crezcan y produzcan una cantidad suficiente de ácidos orgánicos que solubilicen el fósforo.

Cuadro 3.3: Análisis de regresión para el rendimiento de tomate – fruto.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
X ₁	1	1818345.514	1818345.514	48.39	<.0001 **
X ₂	1	807864.508	807864.508	21.50	<.0001 **
X ₁₁	1	2650.428	2650.428	0.07	0.7922 NS
X ₂₂	1	137999.934	137999.934	3.67	0.0640 NS
X ₁ X ₂	1	31.009	31.009	0.00	0.9773 NS

Cuadro 3.4: Coeficientes de regresión del modelo polinomial para el rendimiento de tomate – fruto.

Parámetro	Valor Estimado	T para Ho: Parámetro = 0	Error estándar del valor estimado	Pr > T
Intercepto	715.227	13.79	51.878	<.0001 **
X ₁	152.683	6.96	21.950	<.0001 **
X ₂	101.771	4.64	21.950	<.0001 **
X ₁₁	4.540	0.27	17.094	0.7922 NS
X ₂₂	-32.757	-1.92	17.094	0.0640 NS
X ₁ X ₂	-0.402	-0.03	13.990	0.9773 NS

El análisis de regresión (Cuadro 3.3 y 3.4) para estimar la influencia del tiempo de incubación (X₁) y el nivel de roca fosfórica incubada (X₂), en la producción de tomate, muestra significación estadística para los componentes lineales de ambos factores; por lo que no es posible, con los tratamientos estudiados, determinar los niveles de ambos factores que maximizan la producción de tomate. Asimismo los valores para X₁ y X₂ señalan que es posible incrementar los días de incubación así como aplicar

mayores niveles de RF incubada para posibilitar un mayor rendimiento de tomate.

Considerando el modelo polinomial (superficie de respuesta):

$$Y = 715.227 + 152.683 X_1 + 101.771 X_2 + 4.540 X_1^2 - 32.757 X_2^2 - 0.402 X_1 X_2 + e$$

El gráfico de Superficie de respuesta sería el siguiente (Grafico 3.1):

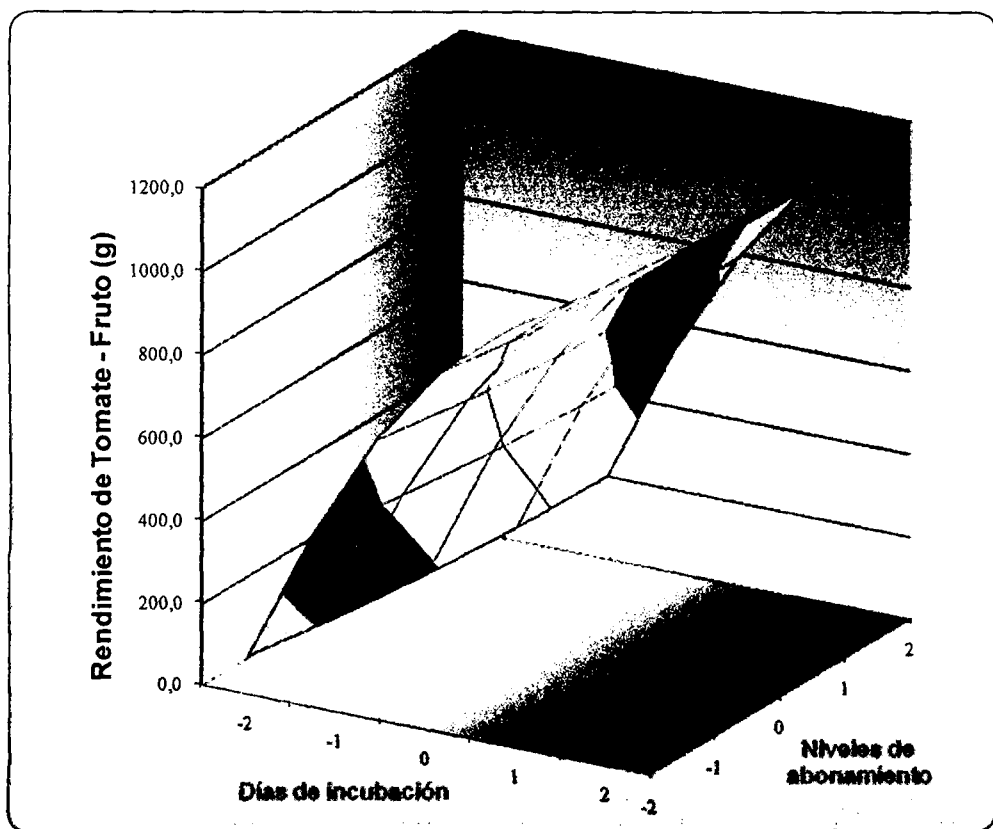


GRAFICO 3.1: Superficie de respuesta para el rendimiento de tomate – fruto

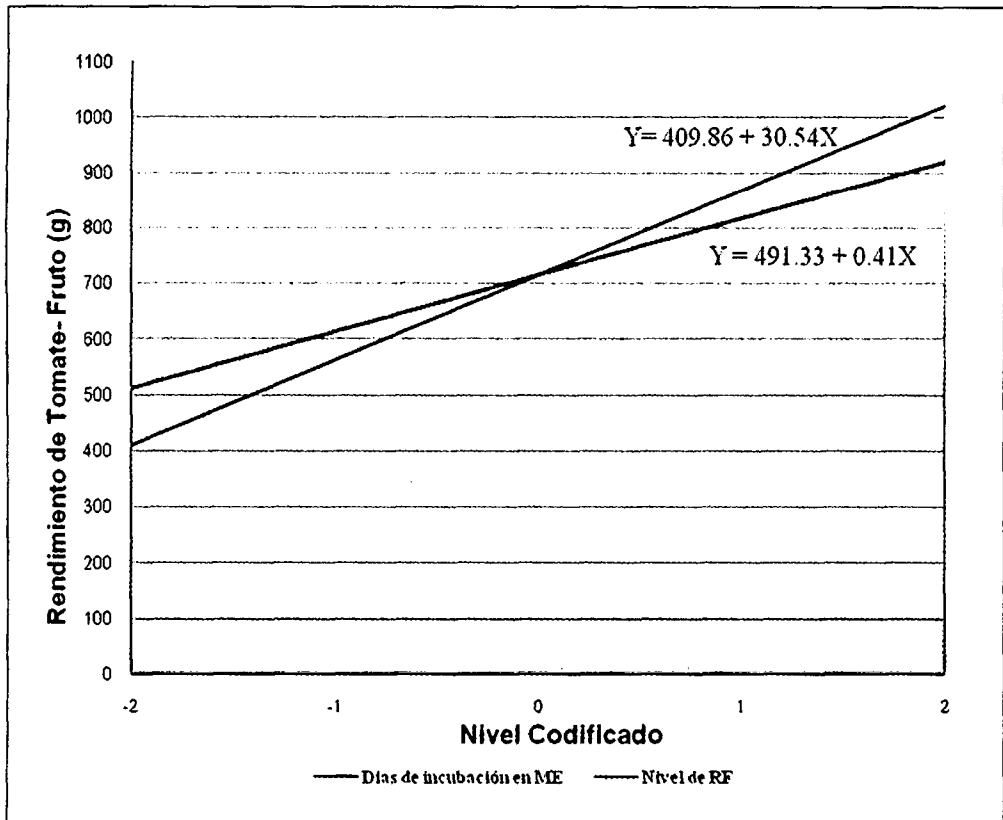


GRAFICO 3.2: *Efecto de la roca fosfórica incubada en MEN en el rendimiento de tomate – fruto.*

En el gráfico 3.2 se destaca la pendiente de la curva que corresponde al factor X_1 : tiempo de incubación en MEN, comparado con la pendiente del factor X_2 : nivel de RF incubada; esto indica que los días de incubación de la RF en la solución de MEN es el factor que más influencia tiene sobre la producción del fruto de tomate.

Una inspección visual al gráfico 3.1, permite llegar a la misma conclusión, debido a que la pendiente de la superficie hacia el eje del factor X_1 (días de incubación en MEN) está más inclinada.

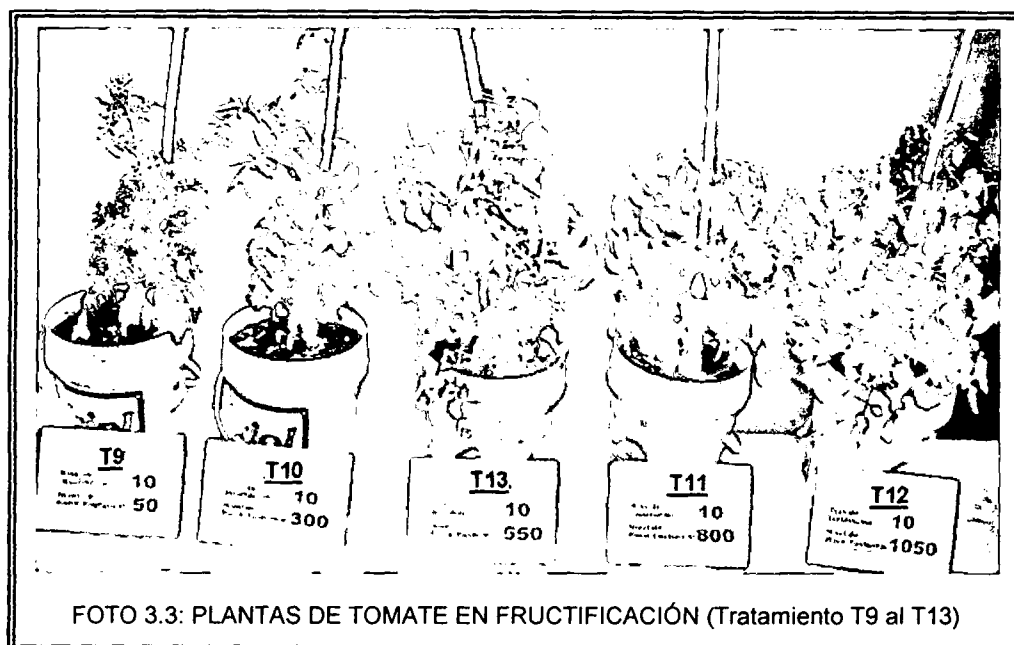
Para una mejor apreciación de estos resultados se presenta las siguientes fotografías:



En la foto 3.1, se observa que la diferencia es muy evidente entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4. En aquellos que se aplicaron RF incubada (T2 y T4), ofrecen mayor cantidad de frutos. Desprendiéndose así que los MEN, tienen efecto positivo en la solubilización de la RF.



En la foto 3.2 se nota una diferencia muy evidente entre los tratamientos T5, T6, T13, T7 y T8. Por lo que se desprende que los MEN tienen un efecto positivo en la solubilización de la RF, cuanto más tiempo se lleva a cabo la incubación existe mayor liberación del fósforo a partir de la RF.



En la foto 3.3 se observa la diferencia entre los tratamientos T9, T10, T13, T11 y T12. Podemos notar que la RF incubada durante 10 días influye en el crecimiento y desarrollo del tomate. También nos indica que una mayor aplicación de RF incubada durante 10 días posiblemente aporte mayor cantidad de fósforo disponible para la planta.

3.2 RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE LA PARTE FOLIAR DEL TOMATE.

Los resultados del rendimiento en materia seca de la parte foliar del tomate

(cuadro N ° 02 del anexo), muestra que todos los tratamientos superan al testigo; siendo el valor más alto el Tratamiento 4 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada por 20 días) con un rendimiento de **51,86 g/maceta**; mientras que el rendimiento más bajo se obtuvo con el Tratamiento 1 (Testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar), con un rendimiento de apenas **16,55 g/maceta**. También se destaca el hecho de que con el Tratamiento 3 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) se consiguió un rendimiento de **23,56 g/maceta**; estos resultados afirman el efecto positivo de la solución de MEN en la solubilidad de la RF, que se traduce en mejores rendimientos de materia seca de la parte foliar del tomate.

El cuadro 3.5 de ANVA muestra diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos. Esto indica que hubo influencia en la producción de materia seca de la parte foliar del tomate.

Cuadro 3.5: ANVA de la producción de materia seca en tomate

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Tratamiento	12	6584.4629	548.70524	11.31	< .0001 **
Error	26	1261.38467	48.51480		
Total	38	7845.8476			

C.V. = 20.32%

Para determinar la importancia de cada uno de estos tratamientos se realizó la prueba de Duncan (Cuadro 3.6) demostrando que los rendimientos más altos corresponden a los tratamientos T4 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días), T7 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 15 días), T8 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días), T2 (50 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días) y T13 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), en los cuales, con excepción del

tratamiento T2, se aplicaron entre 550 y 1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada en la solución de MEN por 15 y 20 días, excepto el T13 (en el que se incubó por 10 días). Mientras que los rendimientos más bajos se obtuvieron con los tratamientos: T6 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 5 días), T11 (800 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), T5 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar), T3 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar), T9 (50 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), T10 (300 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días) y T1 (testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) en éstos, la RF se incubó por períodos menores o iguales a 10 días.

Cuadro 3.6. Prueba de duncan (0.05) para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta

Tratamiento	Rendimiento promedio de materia seca g/maceta	Grupo Duncan (0.05)
T4 (2,2)	51.860	a
T7 (1,0)	51.523	a
T8 (2,0)	50.490	a
T2 (2,-2)	48.100	a
T13 (0,0)	46.930	a
T12 (0,2)	32.843	b
T6 (-1,0)	29.603	b c
T11 (0,1)	28.037	b c
T5 (-2,0)	23.943	b c
T3 (-2,2)	23.557	b c
T9 (0,-2)	22.160	b c
T10 (0,-1)	19.157	c
T1 (-2,-2)	16.550	c

Similar a la variable anterior, en este caso también la solución madre de MEN tuvo un efecto positivo en la solubilidad de la RF; de la misma forma una mayor cantidad de RF incubada aplicada en el cultivo, se traduce en mayores rendimientos. Esta respuesta probablemente se deba a que una mayor cantidad de RF incubada (en una solución de MEN) contiene una mayor cantidad de fósforo disponible para la planta, lo que permite que el cultivo aproveche en mayor proporción de este nutriente mineral.

Realizando comparaciones entre algunos tratamientos; como los de alta dosis de abonamiento, T4 (incubado por 20 días), T12 (incubado por 10 días) y T3 (sin incubar), encontramos que los rendimientos presentan una amplia variación, correspondiendo los rendimientos más altos (51.86 g y 32.84 g) a los tratamientos T4 y T12 respectivamente en comparación al T3 que apenas llega a 23.56 g. Al comparar los tratamientos que recibieron una dosis media de abonamiento: T8 (incubado por 20 días), T7 (incubado por 15 días), T13 (incubado por 10 días), T6 (incubado por 5 días), T5 (sin incubar), se observa que los 3 primeros alcanzaron rendimientos de 50.49 g, 51.52 g y 46.93 g respectivamente, superando ampliamente a los tratamientos T6 y T5 con 29.60 g y 23.94 g respectivamente. Asimismo al comparar los Tratamientos con niveles bajos de abonamiento como son el T2 (incubado por 20 días) y T1 (sin incubar), el primero alcanzó un rendimiento de 48.10 g frente a los 16.55 g conseguidos por el no incubado. En fin todos los tratamientos que muestran elevados valores, han sido tratados con MEN demostrándose su influencia positiva en los tratamientos, incluso en los que poseen una dosis baja de abonamiento. Esto permite afirmar que la solución de MEN tiene un efecto solubilizante en la RF.

El análisis de regresión (Cuadro 3.7 y 3.8) para estimar la influencia del tiempo de incubación (X_1) y el nivel de Roca Fosfórica Incubada (X_2), en la producción de materia seca de la parte foliar de tomate, muestra alta significación estadística para el componente lineal del primer factor y significación estadística para el componente cuadrático del segundo factor; por lo que no es posible, determinar con el primer factor el nivel que maximice la producción de materia seca, mientras tanto el segundo factor muestra una ligera tendencia cuadrática, sin embargo no es posible considerar un nivel que maximice la producción de materia seca. Por lo que los valores de X_1 y X_2 señalan que es posible incrementar los días de incubación para posibilitar un mayor rendimiento en materia seca del tomate.

Cuadro 3.7: Análisis de regresión para el rendimiento de materia seca.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
X_1	1	4374.90905	4374.90905	55.53	<.0001 **
X_2	1	309.36559	309.36559	3.93	0.0559 NS
X_{11}	1	303.01100	303.01100	3.85	0.0583 NS
X_{22}	1	393.40164	393.40166	4.99	0.0323 *
X_1X_2	1	7.90563	7.90563	0.10	0.7534 NS

Cuadro 3.8: Coeficientes de regresión del modelo polinomial para el rendimiento de materia seca.

Parámetro	Valor Estimado	T para Ho: Parámetro = 0	Error estándar del valor estimado	Pr > T
Intercepto	34.639841	14.58	2.37528160	<.0001 **
X ₁	7.489231	7.45	1.00497809	<.0001 **
X ₂	1.991538	1.98	1.00497809	0.0559 NS
X ₁₁	1.534950	1.96	0.78265206	0.0583 NS
X ₂₂	- 1.748972	-2.23	0.78265206	0.0323 *
X ₁ X ₂	- 0.202917	-0.32	0.64055036	0.7534 NS

Considerando el modelo polinomial (superficie de respuesta):

$$Y = 34.640 + 7.489 X_1 + 1.992 X_2 + 1.535 X_1^2 - 1.749 X_2^2 - 0.203 X_1 X_2 + e$$

El gráfico de superficie de respuesta es el siguiente:

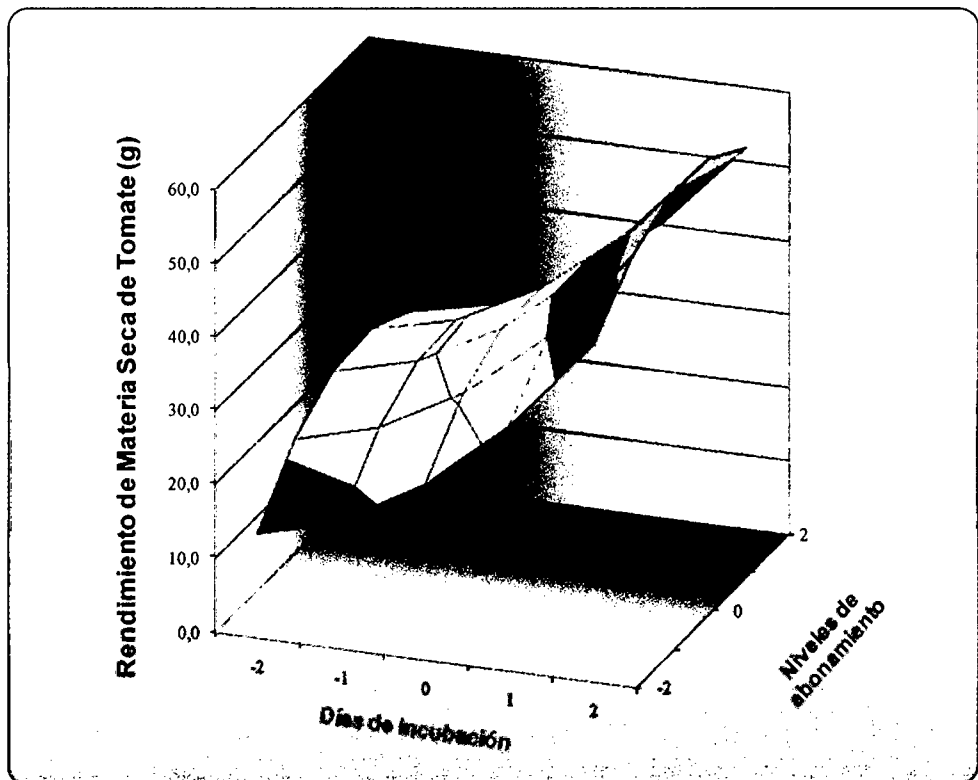


GRAFICO 3.3: Superficie de respuesta para el rendimiento de materia seca en tomate.

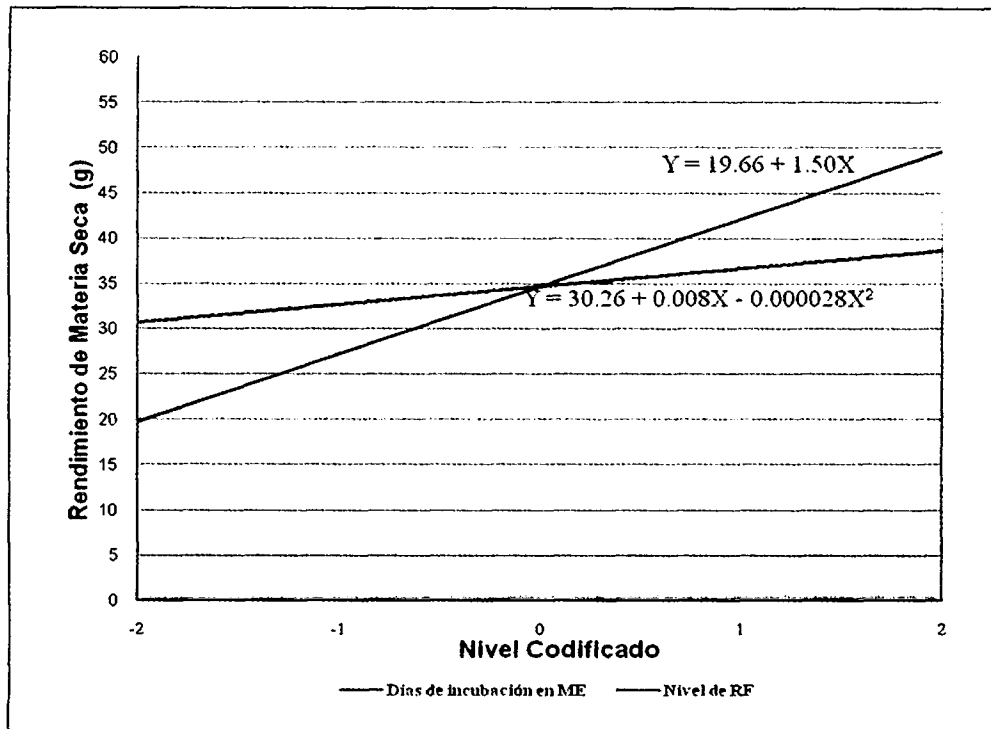
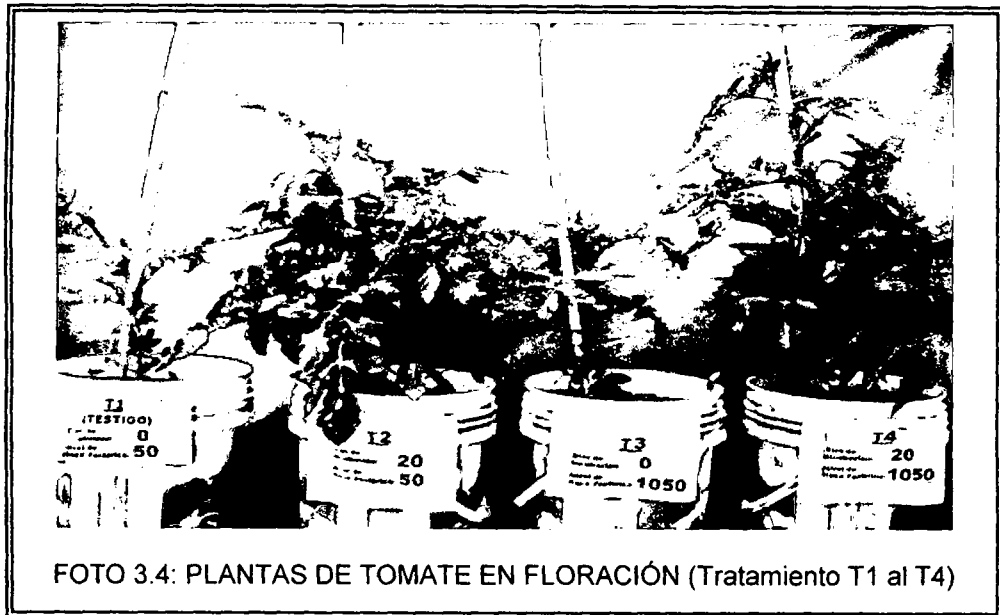


GRAFICO 3.4: Efecto de la roca fosfórica incubada en MEN en el rendimiento de materia seca de tomate.

En el gráfico 3.4 se destaca la pendiente de la curva que corresponde al factor X_1 : tiempo de incubación en MEN, comparado con la pendiente del factor X_2 : nivel de RF incubada; esto indica que los días de incubación de la RF en la solución de MEN es el factor que más influencia tienen sobre la producción de materia seca de la parte foliar del tomate.

Una inspección visual al gráfico 3.3, permite llegar a la misma conclusión, debido a que la pendiente de la superficie hacia el eje del factor X_1 (días de incubación en MEN) está más inclinada.

Una mejor apreciación de los resultados mencionados se percibe en las siguientes fotografías:

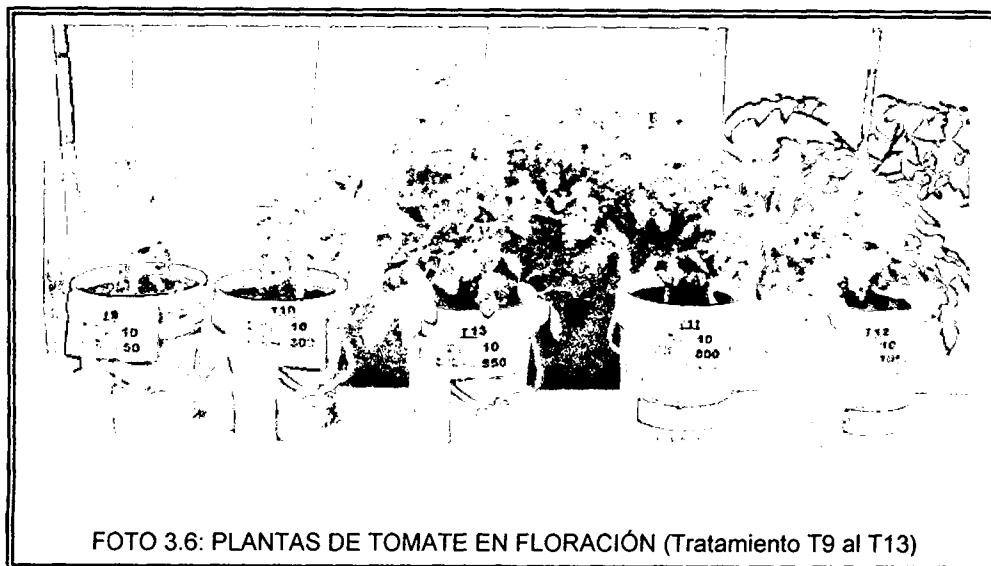


La foto 3.4 muestra que la diferencia es muy evidente entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Los tratamientos en los cuales se aplicaron RF incubada (T2 y T4), muestran mayor cantidad de biomasa. Por lo que se desprende que los MEN, tienen efecto positivo en la solubilización de la RF.



La 3.5 muestra que la diferencia es muy evidente entre los tratamientos T5, T6, T13, T7 y T8. Por lo que se desprende que los MEN, tienen efecto

positivo en la solubilización de la RF, cuanto más tiempo se lleva a cabo la incubación existe mayor liberación del fósforo a partir de la RF.



En la foto 3.6 se observa la diferencia entre los tratamientos T9, T10, T13, T11 y T12. Podemos notar que la RF incubada durante 10 días influye en el crecimiento y desarrollo del tomate. También nos indica que una mayor aplicación de RF incubada durante 10 días posiblemente aporte mayor cantidad de fósforo disponible para la planta.

3.3 LONGITUD DEL FRUTO DE TOMATE.

En el cuadro N ° 03 del anexo se presenta los resultados de la longitud polar de los frutos de tomate. El Tratamiento 12 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada por 10 días) presenta el valor más alto, con una longitud de **66.67 mm**, seguido por el Tratamiento 4 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada por 20 días) con una longitud de **63.67 mm**; y como en las anteriores variables la menor longitud se obtuvo con el Tratamiento 1 (Testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF

sin incubar), con una longitud de **49.33 mm**. Con fines comparativos obsérvese el Tratamiento 3 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) con el que se consiguió una longitud de **53.33 mm**; el cual a pesar de poseer el nivel máximo de RF presenta una longitud menor al T4, simplemente por no ser incubado en MEN.

El cuadro 3.9 de ANVA muestra diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos, lo que indica que los tratamientos tuvieron influencia sobre la longitud de los frutos.

Cuadro 3.9. ANVA para la longitud en los frutos de tomate:

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Tratamiento	12	760.7692308	63.3974359	7.68	< .0001 **
Error	26	214.6666667	8.2564103		
Total	38	975.4358974			

C.V. = 4.90 %

Para determinar la importancia de cada uno de estos tratamientos se realizó la prueba de Duncan. (Cuadro 3.10). Esta prueba señala que los rendimientos más altos corresponden a los tratamientos T12 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado por 10 días), T4 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado por 20 días), T11 (800 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado por 10 días) y T8 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado por 20 días), en los cuales se aplicó entre 550 y 1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada en la solución de MEN por 10 y 20 días. Por otro lado las longitudes bajas se obtuvieron en los tratamientos: T3 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) y T1 (testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) en estos la roca fosfórica no se incubó.

Cuadro 3.10. Prueba de Duncan (0.05) para la longitud de frutos.

Tratamiento	Promedio de la longitud de frutos (mm)	Grupo Duncan (0.05)
T12	66.667	a
T4	63.667	a b
T11	62.000	a b c
T8	61.667	a b c
T10	61.000	b c
T13	60.000	b c d
T9	57.667	c d e
T6	57.333	c d e
T7	57.000	c d e
T2	57.000	c d e
T5	55.000	d e
T3	53.333	e f
T1	49.333	f

El análisis de regresión (Cuadro 3.11 y 3.12) para estimar la influencia del tiempo de incubación (X_1) y el nivel de RF incubada (X_2), en la longitud, muestra alta significación estadística para los componentes lineales de ambos factores y alta significación estadística para el componente cuadrático del primer factor, por lo que no es posible, determinar con el segundo factor el nivel que maximice la longitud del tomate, sin embargo para el primer factor si es posible determinar el nivel que maximiza la longitud del fruto del tomate (10 y 15 días de incubación).

Cuadro 3.11: Análisis de regresión para la longitud del fruto de tomate.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
X ₁	1	277.0384615	277.0384615	26.26	<.0001 **
X ₂	1	187.7051282	187.7051282	17.79	0.0002 **
X ₁₁	1	151.1721933	151.1721933	14.33	0.0006 **
X ₂₂	1	0.6794397	0.6794397	0.06	0.8012 NS
X ₁ X ₂	1	5.3333333	5.3333333	0.51	0.4820 NS

Cuadro 3.12: Coeficientes de regresión del modelo polinomial para la longitud del fruto de tomate.

Parámetro	Valor Estimado	T para Ho: Parámetro = 0	Error estándar del valor estimado	Pr > T
Intercepto	60.613	69.74	0.869	<.0001 **
X ₁	1.885	5.12	0.368	<.0001 **
X ₂	1.551	4.22	0.368	0.0002 **
X ₁₁	-1.084	-3.79	0.286	0.0006 **
X ₂₂	0.073	0.25	0.286	0.8012 NS
X ₁ X ₂	0.167	0.71	0.234	0.4820 NS

Considerando el modelo polinomial (superficie de respuesta):

$$Y = 60.613 + 1.885 X_1 + 1.551 X_2 - 1.084 X_1^2 + 0.073 X_2^2 + 0.167 X_1 X_2 + e$$

El gráfico de Superficie de respuesta es el siguiente:

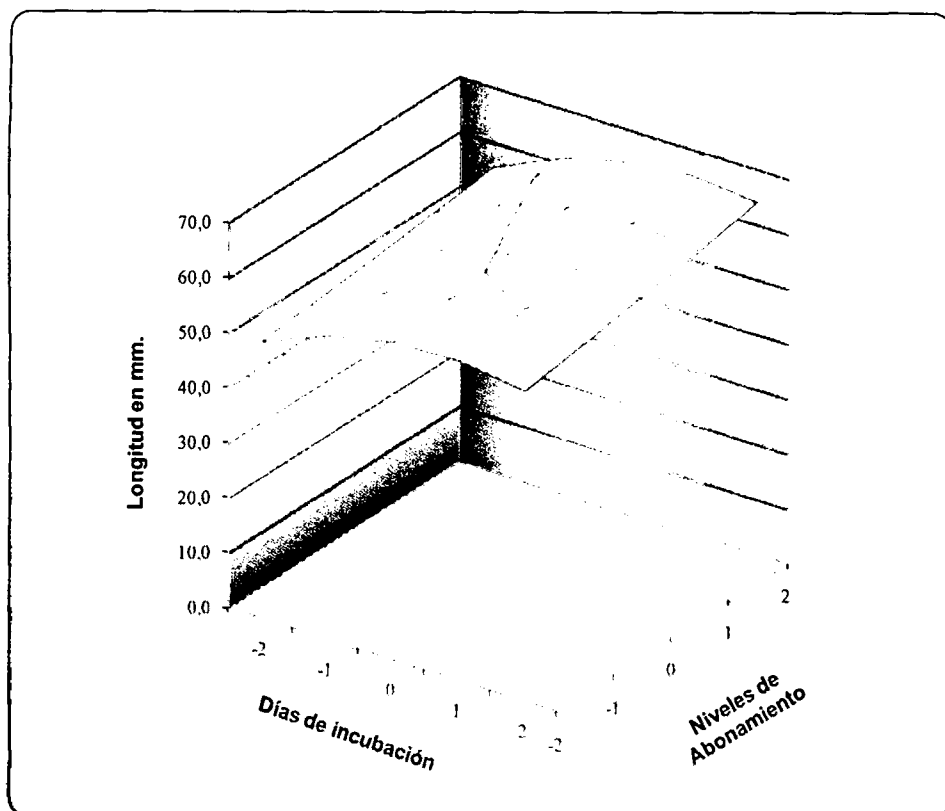


GRAFICO 3.5: Superficie de respuesta para la longitud del fruto de tomate

Una inspección visual al gráfico 3.5 permite afirmar que la pendiente de la superficie que corresponde al factor X_1 : tiempo de incubación, está más inclinada, en comparación con la pendiente de la superficie del factor X_2 : nivel de RF incubada, esto indica que los días de incubación de la RF en la solución de MEN es el factor que más influencia tiene sobre la longitud del fruto del tomate.

3.4 DIÁMETRO DEL FRUTO DE TOMATE.

En los resultados del diámetro de los frutos de tomate (cuadro N ° 04 del anexo), obsérvese que el valor más alto corresponde al Tratamiento 8 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada por 20 días) con un diámetro de **46.33 mm**, mientras que el diámetro menor se obtuvo con el Tratamiento 1 (Testigo: 50

Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar), con un diámetro de **30.33 mm**. Comparativamente obsérvese que con el Tratamiento 3 (1050 Kg RF. Ha⁻¹ sin incubar) con el que se consiguió un diámetro de **36.67 mm**; estos resultados permiten afirmar que hubo un efecto positivo de la solución de microorganismos en la solubilidad de la RF, que se traduce en mayores diámetros en los frutos de tomate.

El cuadro 3.13 de ANVA muestra diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos, lo que indica que los tratamientos tuvieron influencia sobre el diámetro de los frutos.

Cuadro 3.13. ANVA para el diámetro en los frutos de tomate:

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Tratamiento	12	750.2564103	62.5213675	9.06	< .0001 **
Error	26	179.3333333	6.8974359		
Total	38	929.5897436			

C.V. = 6.66 %

La prueba de Duncan (Cuadro 3.14) señala que los mayores diámetros corresponden a los tratamientos T8 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días), T12 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días), T13 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 10 días) y T7 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 15 días) en los cuales se aplicó entre 550 y 1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubada en la solución de MEN por 10, 15 y 20 días. Por otro lado los diámetros más bajos se obtuvieron en los tratamientos: T5 (550 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) y T1 (Testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar), como vemos en éstos la RF no se incubó. Como en los casos anteriores la solución madre de MEN tuvo un efecto positivo en

la solubilización de la RF.

Cuadro 3.14: Prueba de Duncan (0.05) para el diámetro del tomate.

Tratamiento	Promedio del diámetro de frutos (mm)	Grupo Duncan (0.05)
T8	46.333	a
T12	44.333	a b
T13	44.000	a b c
T7	41.667	a b c d
T10	41.000	b c d
T2	40.333	b c d
T11	40.000	b c d
T4	39.333	b c d
T9	39.000	c d
T6	37.667	d
T3	36.667	d
T5	32.000	e
T1	30.333	e

El análisis de regresión (Cuadro 3.15 y 3.16) para estimar la influencia del tiempo de incubación (X_1) y el nivel de RF incubada (X_2) en el diámetro, muestra alta significación estadística para los componentes lineales de ambos factores y alta significación estadística alta para el componente cuadrático del primer factor, por lo que no es posible determinar con el segundo factor los niveles que maximicen el diámetro del fruto de tomate, sin embargo para el primer factor si es posible determinar el nivel que maximiza la longitud del fruto de tomate (10 y 15 días de incubación).

Cuadro 3.15: Análisis de regresión para el diámetro del fruto de tomate.

F.V.	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
X ₁	1	388.1538462	388.1538462	42.03	<.0001 **
X ₂	1	47.7051282	47.7051282	5.17	0.0297 *
X ₁₁	1	110.0287503	110.0287503	11.91	0.0015 **
X ₂₂	1	10.6446924	10.6446924	1.15	0.2908 NS
X ₁ X ₂	1	40.3333333	40.3333333	4.37	0.0444 *

Cuadro 3.16: Coeficientes, de regresión del modelo polinomial para el rendimiento de tomate – fruto.

Parámetro	Valor Estimado	T para Ho: Parámetro = 0	Error estándar del valor estimado	Pr > T
Intercepto	41.861185	51.47	0.813257	<.0001 **
X ₁	2.230770	6.48	0.344088	<.0001 **
X ₂	0.782051	2.27	0.344088	0.0297 *
X ₁₁	-0.924949	-3.45	0.267967	0.0015 **
X ₂₂	-0.287694	-1.07	0.267967	0.2908 NS
X ₁ X ₂	-0.458333	-2.09	0.219314	0.0444 *

Considerando el modelo polinomial (superficie de respuesta):

$$Y = 41.861 + 2.231 X_1 + 0.782 X_2 - 0.925 X_1^2 - 0.288 X_2^2 - 0.458 X_1 X_2 + e$$

El gráfico de Superficie de respuesta es el siguiente:

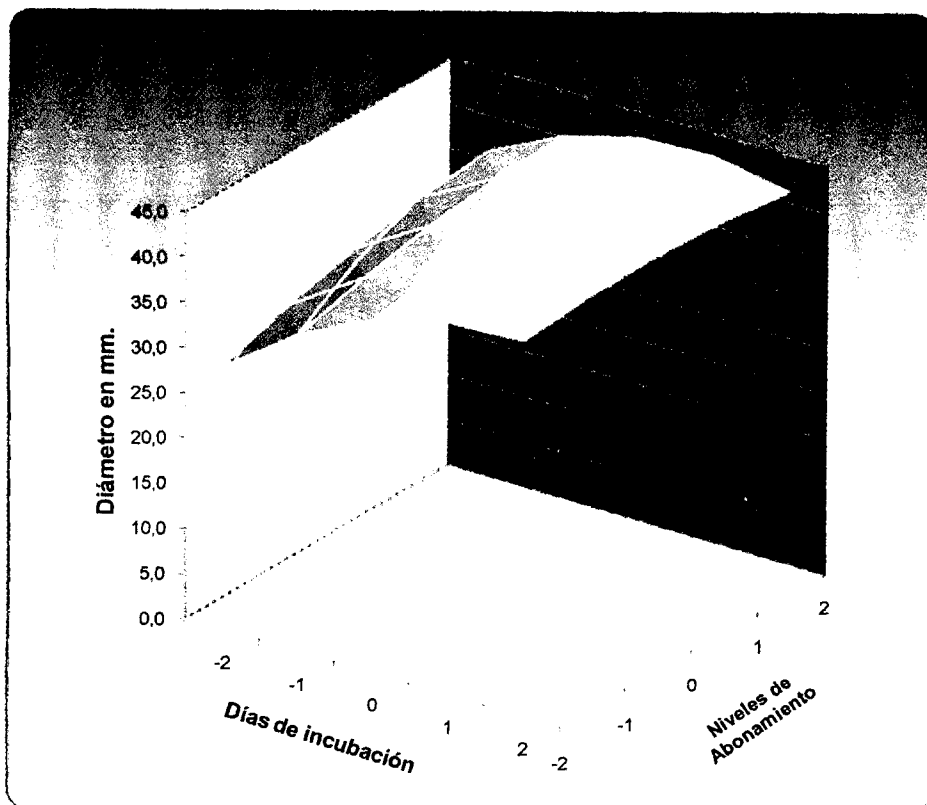


GRAFICO 3.6: Superficie de respuesta para el diámetro del fruto de tomate

Una inspección visual al gráfico 3.6 permite afirmar que la pendiente de la superficie que corresponde al factor X_1 : tiempo de incubación, está más inclinada, en comparación con la pendiente de la superficie del factor X_2 : nivel de RF incubada, esto indica que los días de incubación de la RF en la solución de MEN es el factor que más influencia tiene sobre el diámetro del fruto del tomate.

3.5 SOLUBILIZACIÓN DE LA ROCA FOSFÓRICA TRATADA

Se realizó el análisis correspondiente de la RF tratada durante los distintos períodos de incubación; encontrándose que la RF incubada durante 20 días en los MEN posee 2.14 % de P_2O_5 disponible para la planta, en

comparación con 0.001145% de P_2O_5 existente en la RF sin tratar. El cuadro 3.17 muestra al detalle el análisis químico realizado:

Cuadro 3.17: Fósforo disponible (expresado como P_2O_5) liberado a partir de la RF por acción de la solución de MEN:

Roca Fosfórica Tratada					
Solubilidad del P en Agua					
Días de tratamiento	D.O. (1)	D.O (20)	Lr	ppmP	% P_2O_5
0 días (Roca Fosfórica sin Tratar)	0.001	-	0.002	5	0.001145
5 días	0.09	-	0.209	522.5	0.11965
10 días	0.0188	-	0.448	1120	0.25648
15 días	1.404	0.08	0.185	9250	2.11825
20 días	1.591	0.081	0.187	9350	2.14115

Cuadro 3.18: Contenido de fósforo (P_2O_5) total presente en la roca fosfórica

Roca Fosfórica Sin Tratar					
Solubilidad del P en ácido cítrico					
Días de tratamiento	D.O. (1)	D.O (20)	Lr	ppm P	% P_2O_5
Total de fósforo en la Roca fosfórica	-	0.7	1.57	125600	28.76

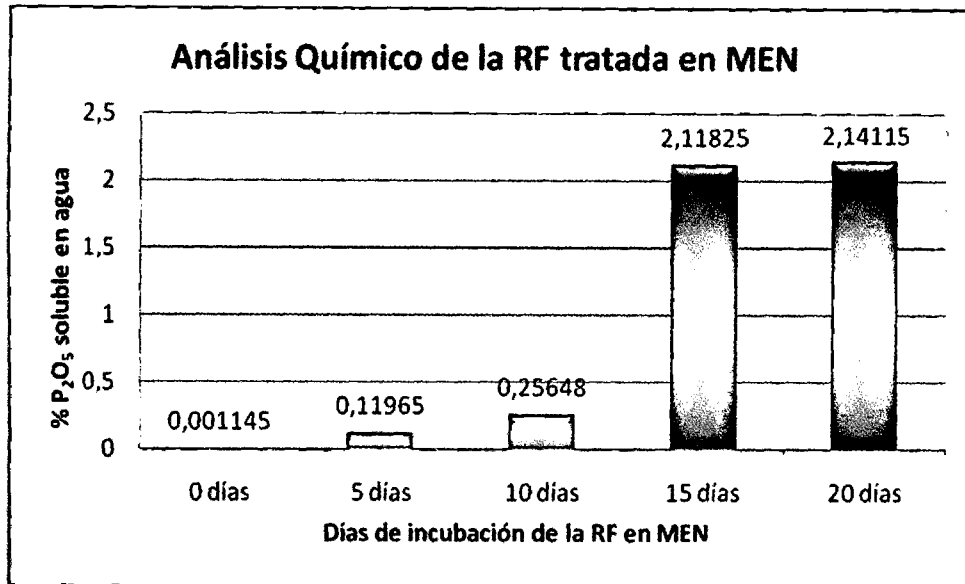


GRAFICO 8: Fósforo disponible (expresado en P₂O₅) liberado a partir de la RF tratada en MEN.

Podemos observar que la Roca Fosfórica sin tratar en MEN (0 días) posee un porcentaje mínimo de P₂O₅ disponible para la planta equivalente a 0.001145 %. Así mismo observamos que la Roca Fosfórica tratada en MEN, posee mayor cantidad de P₂O₅ el cual se incrementa progresivamente a medida que aumenta los días de incubación de la Roca Fosfórica en los MEN, desde 0.11965 % en los 5 días de incubación hasta los 2.14115 % en los 20 días de incubación. Por lo que se afirma que en efecto la solución de MEN, con un pH de 3.53, tuvo un efecto positivo solubilizante en la Roca Fosfórica, esto posiblemente a la acción de los ácidos presentes en la solución, como también por las sustancias quelantes producidas por los microorganismos los cuales también liberan al fósforo insoluble. **Coyne (2000)**, indica que existen 3 mecanismos básicos para solubilizar el fósforo mineral y hacer que resulte más disponible: la *quelación*, la *reducción del hierro* y la *acidificación*. Todos estos métodos desestabilizan los minerales en los que se encuentra el fósforo. Los compuestos orgánicos fabricados

por los microorganismos, como el ácido oxálico, pueden quelar (unir) Ca^{+2} , Mg^{+2} y Fe^{+3} , desestabilizando así el mineral de fosfato y solubilizando el fósforo. La producción de ácido por parte de los microorganismos disuelve los minerales. De esta manera, los ácidos orgánicos, el ácido nítrico (producido por agentes nitrificantes), el ácido sulfúrico (producido por los tiobacilos) y el ácido carbónico (H_2CO_3) libera fósforo procedente de formas minerales.

En lo que respecta al pH, **Whitelaw (2000)** citado por **Valenzuela (2002)**, realizó una prolija revisión bibliográfica sobre hongos solubilizadores de fósforo y encontró que la mayoría de los casos el principal mecanismo de la solubilización fue la acidificación. Niveles altos de solubilización de fósforo a menudo están asociados a pH bajo del medio de cultivo, a la inversa, una baja solubilización de fósforo a menudo está asociado a pH alto.

Bardiya y Gaur (1974) citados por **Whitelaw (2000)**, indican q la solubilización del fósforo por hongos no solo dependería del pH del medio de cultivo, sino también de otros factores como el tipo de ácido orgánico excretado, **Valenzuela (2002)**. A este respecto **Kpomblekou y Tabatabai (1994)**, citados por **Valenzuela (2002)**, observaron que los ácidos alifáticos con grupos r-hidroxil y carboxil son más efectivos que otros ácidos alifáticos o aromáticos en la liberación de fósforo a partir de la RF.

Valenzuela (2002) menciona que algunos investigadores han reportado que los ácidos orgánicos son capaces de solubilizar más fósforo que los ácidos inorgánicos al mismo pH, cuya diferencia estaría dada por la quelación. **Cunningham y Kuiack (1992)**, citados por **Valenzuela (2002)**, informaron que la presencia de citrato a pH 4.5 la solubilización abiótica de CaHPO_4 fue

mayor si se compara con la de un ácido inorgánico al mismo pH, lo que indicaría probablemente la quelación por ácido cítrico. La acidificación artificial del medio de cultivo con HCl también solubilizó menos fósforo a partir de CaHPO_4 insolubles que el solubilizado por *Penecillium sp.* y *Pseudomonas sp.* Illmer y Schinner (1992), citados por Valenzuela (2002).

Valenzuela (2002), menciona que en algunos casos se ha reportado la solubilización de fósforo inorgánico en ausencia de la detección de ácidos orgánicos, principalmente como resultado, de la acidificación del medio de cultivo. Según Illmer y Schinner (1995) citado por Valenzuela (2002), la explicación más probable estaría dada por la excreción de protones del citoplasma a la superficie externa de la célula. Esta hipótesis permitiría asumir que la RF puede ser solubilizada directamente en la superficie de la célula.

En la fotografía 3.7 se aprecia los tubos de ensayo en pleno proceso de análisis químico de la RF incubada en MEN, por el método colorimétrico de Bray Curtz, para determinar la cantidad de fósforo liberado en los distintos períodos de incubación (0, 5, 10, 15 y 20 días). Obsérvese las distintas intensidades del color azul que asciende desde la ausencia de color en los 0 días, pasando por un azul tenue a los 10 días y llegando a un azul intenso a los 20 días de incubación en MEN. El color azul es un indicador de la presencia de fósforo soluble en agua, lo que muestra que efectivamente existe una liberación de fósforo a partir de la roca fosfórica por acción de los microorganismos, lográndose en mayor cantidad a partir de los 15 y 20 días de incubación.

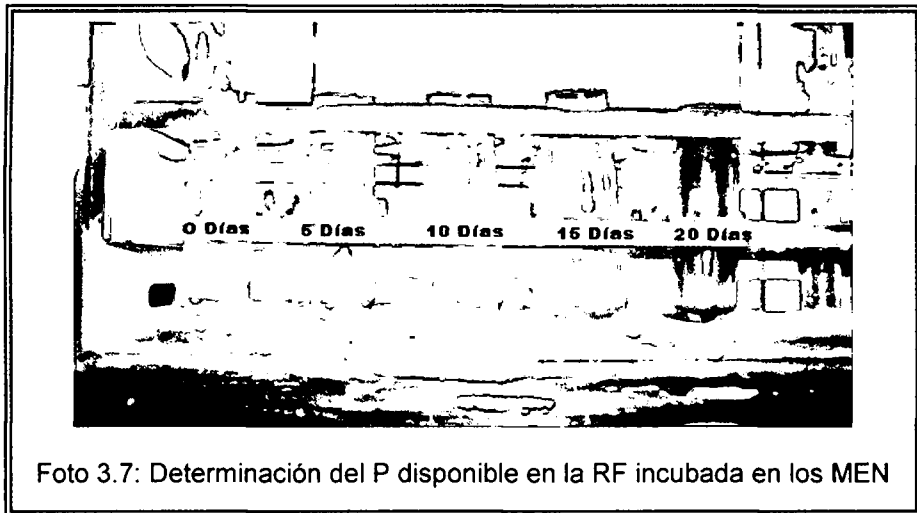


Foto 3.7: Determinación del P disponible en la RF incubada en los MEN

Valenzuela (2002), en los estudios realizados de solubilización de RF carolina del norte con cepas de *Aspergillus niger*, indica que se requirió un período bastante prolongado para obtener los niveles más altos de solubilización de fósforo (los mismos que se manifestaron a los 45 y 60 días de incubación). **Goenadi et al (2000)** citado por **Valenzuela (2002)**, en su trabajo con *A. niger* en la solubilización de RF, evaluaron la respuesta a la inoculación de la biomasa fúngica, del líquido sobrenadante de los cultivos. El desarrollo de la biomasa fúngica necesito un período de incubación considerablemente largo para incrementar el fósforo soluble. Este fenómeno lo atribuyeron al período necesario para que los hongos crezcan y produzcan una cantidad suficiente de ácidos orgánicos que solubilizan el fósforo. De la misma forma en la presente investigación, la solubilización de la RF tuvo mayor efecto en los 15 y 20 días pudiendo atribuirse este echo a que los MEN requieren un período prolongado para incrementar su población y por ende producir mayor cantidad de ácidos orgánicos que faciliten la solubilización de la RF. **Bojinova et al (1997)** citado por **Valenzuela (2002)**, estudió la bioconversión de fosfatos de roca, utilizando

diferentes cepas de *A. niger* y concluyeron que el medio de cultivo, el tiempo de incubación y el tipo de cepa microbiana, son factores que influyen significativamente en este proceso.

3.6 ANÁLISIS BIOLÓGICO DE LOS MICROORGANISMOS EFECTIVOS NATURALES (MEN)

También se realizó un análisis básico de los microorganismos existentes en la solución de MEN y del capturador de microorganismos (Arroz impregnado de microorganismos) confirmándose la existencia de Bacterias en mayor cantidad y Hongos en menor cantidad. Encontramos diversas colonias de bacterias las cuales son Gram positivas y Gram negativas, y poseen mayormente las formas cocobacilares y cocos. En los hongos se observan las Hifas y conidias.

Para mayor detalle a continuación se muestran fotografías sobre el respectivo análisis:

COLONIA DE BACTERIAS Y HONGOS

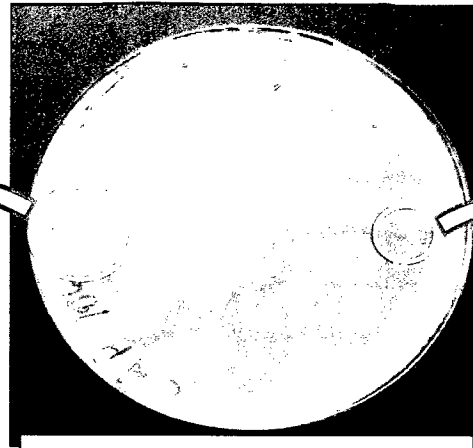
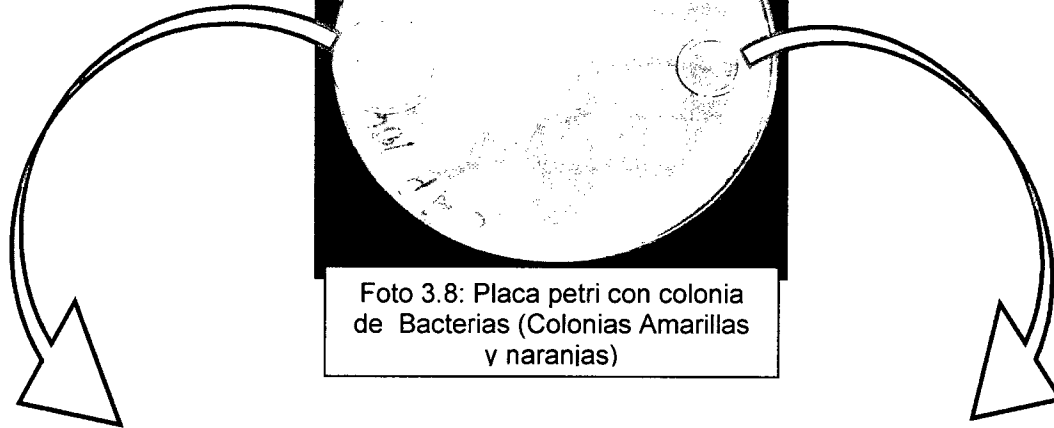


Foto 3.8: Placa petri con colonia de Bacterias (Colonias Amarillas y naranjas)



COLONIA AMARILLA (BACTERIAS)

Foto 3.9: Colonia de Bacterias.

- Cocobacilares
- Gram Negativas

A rectangular frame containing a microscopic view of a yellow bacterial colony. The image shows numerous small, rod-shaped bacteria, some appearing as pairs or short chains (cocobacillary). The background is light, and the bacteria are dark.

COLONIA NARANJA (BACTERIAS)

Foto 3.10: Colonia de Bacterias.

- Cocos
- Gram Negativas y Gram positivos

A rectangular frame containing a microscopic view of an orange bacterial colony. The image shows a dense field of small, spherical bacteria (cocci). Some are arranged in pairs or small groups.

COLONIA DE BACTERIAS Y HONGOS

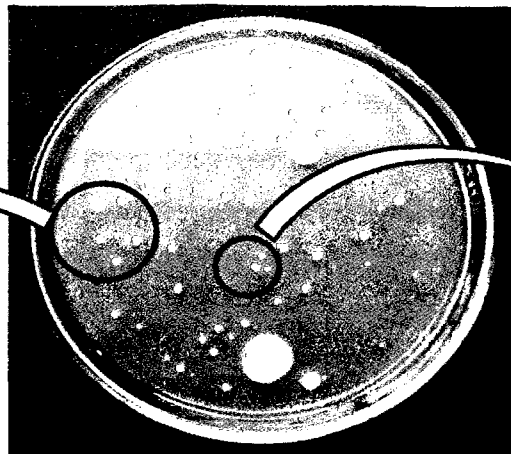


Foto 3.11: Placa petri con colonia de Bacterias (Colonias cremas y blancas)

COLONIA CREMA (BACTERIAS)

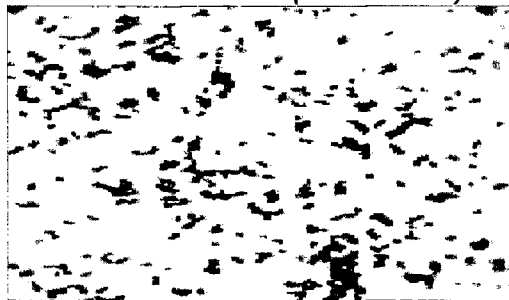


Foto 3.12: Colonia de Bacterias.
- Cocos
- Gram Negativas

COLONIA BLANCA (BACTERIAS)

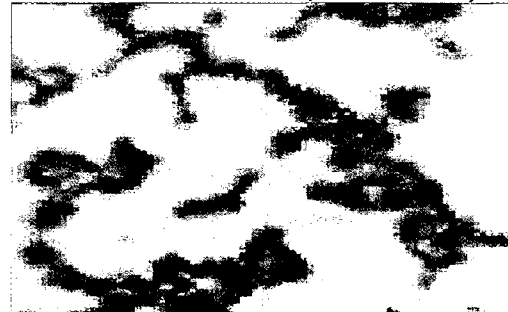


Foto 3.13: Colonia de Bacterias.
- Cocos
- Gram Negativas

COLONIA DE BACTERIAS Y HONGOS

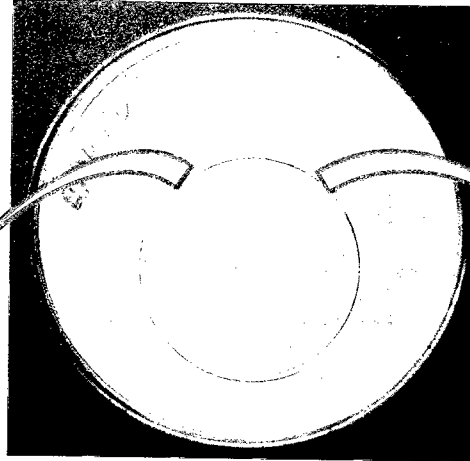


Foto 3.14: Placa petri con colonia de Hongos

COLONIA BLANCA CON PELUZAS (HONGOS). Vista con Aceite de Cedro.

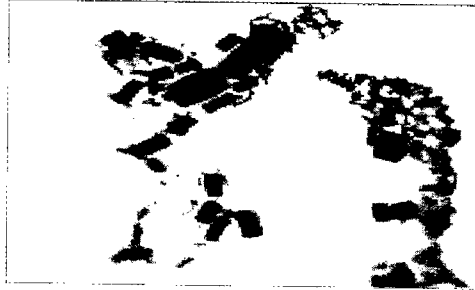


Foto 3.15: Colonia de Hongos.

COLONIA BLANCA CON PELUZAS (HONGOS). Vista con Agua.

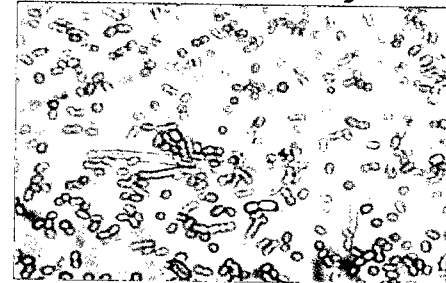


Foto 3.16: Colonia de Hongos.
Observa: Hifas y conidias

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados encontrados en el presente trabajo permiten arribar a las conclusiones y recomendaciones siguientes.

4.1 CONCLUSIONES

1. La solución madre de microorganismos efectivos naturales tiene un efecto solubilizante sobre la roca fosfórica, que se traduce en una mayor concentración de fósforo disponible en este insumo y por consiguiente un mejor rendimiento en materia seca y frutos del tomate.
2. La roca fosfórica tratada en la solución de microorganismos efectivos naturales, logró liberar hasta 2000 veces más la concentración de fósforo disponible: desde 0.001145 % de P_2O_5 en la roca fosfórica sin tratar hasta 2.14115 % de P_2O_5 en la roca fosfórica tratada en MEN durante 20 días.
3. La producción de frutos de tomate por efecto del tiempo de incubación de la roca fosfórica en la solución de MEN (X_1) y el nivel de roca fosfórica aplicada al cultivo (X_2), obedece al modelo $Y = 715.227 + 152.683 X_1 +$

$$101.771 X_2 + 4.540 X_1^2 - 32.757 X_2^2 - 0.402 X_1 X_2 + e$$

4. El factor que más influencia tuvo en la producción de tomate es el tiempo de incubación de la roca fosfórica en MEN.
5. Para lograr una solubilización significativa de la roca fosfórica tratada en la solución de MEN se requiere de un período mínimo de 15 días de incubación.
6. La aplicación de roca fosfórica incubada en la solución de MEN permite mejorar la producción del cultivo de tomate desde 176.7 g/maceta en el T1 (testigo: 50 Kg.Ha⁻¹ de RF sin incubar) hasta 1028.6 g/maceta en el T4 (1050 Kg.Ha⁻¹ de RF incubado 20 días) incluso en suelos con pH ligeramente alcalinos.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar más investigaciones, en cuanto a la solubilización de la roca fosfórica a través de los MEN, con la finalidad de mejorar esta técnica; haciendo énfasis en el período de incubación.
2. Realizar estudios sobre la aplicación de la roca fosfórica incubada en distintas etapas de crecimiento y desarrollo de la planta.
3. Se debe realizar investigaciones concernientes a la identificación de los microorganismos responsables de la solubilización de la roca fosfórica.
4. En estos tiempos en los cuales los fertilizantes sintéticos tienen un alto precio y además perjudican el medio ambiente con sus efectos ya conocidos; se plantea esta alternativa por resultar más económico y compatible con el medio ambiente.
5. Los microorganismos efectivos naturales de preparación casera cumplen funciones productivas, ambientales y armoniosas con la salud humana,

animal y ecosistémica, contribuyendo en la integración de enfoques y conceptos en una agricultura ecológica, económicamente factible, ecológicamente apropiada, energéticamente sustentable y socialmente justa.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la influencia del tiempo de incubación de la roca fosfórica, en una solución de Microorganismos Efectivos Naturales en la solubilidad del fósforo y el crecimiento de la planta, se realizó el presente trabajo en los ambientes del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la UNSCH, utilizando el tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) como planta indicadora. Durante distintos períodos (5, 10, 15, 20 días), se expuso la roca fosfórica a la acción solubilizante de una solución de microorganismos efectivos naturales con un pH de 3.5. La roca fosfórica así tratada se aplicó en distintos niveles (50, 300, 550, 800, 1050 Kg.Ha⁻¹), en macetas con tomates, los que se cultivaron durante 170 días, finalizado este proceso se cosecharon los frutos y la parte foliar para cuantificar la producción de frutos y materia seca. Los resultados encontrados permiten arribar a las conclusiones siguientes: (1) La solución madre de Microorganismos Efectivos Naturales tiene un efecto solubilizante sobre la Roca Fosfórica, que se traduce en una mayor concentración de Fósforo disponible en este insumo y por consiguiente un mejor rendimiento en materia seca y frutos del tomate. (2) La Roca Fosfórica tratada en la solución de Microorganismos Efectivos Naturales, logró liberar hasta 2000 veces más la concentración de fósforo disponible: desde 0.001145 % de P₂O₅ en la Roca Fosfórica sin tratar hasta 2.14115 % de P₂O₅ en la Roca Fosfórica tratada en MEN durante 20 días. (3) La producción de frutos de tomate por efecto del tiempo de incubación de la Roca Fosfórica en la solución de MEN (X₁) y el nivel de Roca Fosfórica aplicada al cultivo (X₂), obedece al modelo $Y = 715.227 + 152.683 X_1 + 101.771 X_2 + 4.540 X_1^2 - 32.757 X_2^2 - 0.402 X_1X_2 + e$. (4) Para

lograr una solubilización significativa de la Roca Fosfórica tratada en la solución de MEN se requiere de un período mínimo de 15 días de incubación, la misma que es aplicable incluso en suelos ligeramente alcalino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. **ALARCÓN, V. 1993.** Efecto de la Urea en la Solubilidad de la Roca Fosfatada de Sechura en condiciones de Laboratorio e Invernadero. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Formación Profesional de Agronomía. UNSCH. Ayacucho. 174 p.
2. **ALEXANDER, M.1980.** "Introducción a la microbiología del Suelo" A.G.T. Editor S.A. México D.F. 420 p.
3. **BEAR, F. 1963.** Suelos y Fertilizantes. 3 era Edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 458 p.
4. **BLACK, C. 1975.** Relaciones Suelo-Planta. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires. 420 p.
5. **BORNEMISZA, E. 1982.** Introducción a química de Suelos. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 74 p.
6. **BRACK, A. 2003.** Frutas del Perú. Escuela de Formación Profesional de Turismo y Hotelería. Universidad San Martín de Porres. Lima. 320 p.
7. **BRACK, A. y MENDIOLA, C. 2000.** Ecología del Perú. Editorial Bruño. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Lima. 495 p.
8. **BUCKMAN H. y BRADY N. 1985.** Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial UTEHA. México. 590 p.
9. **CÁSSERES E. 1980.** Producción de Hortalizas. Editorial IICA. San José de Costa Rica. 387 p.
10. **CATEDRA IX. 1982.** Química del Suelo y los Fertilizantes. 3 era. Edición. Universidad Politécnica. Madrid. 127 p.
11. **CHUJO S. L. (2004),** ¿Qué es EM? disponible en <http://www.chujosl.com/>. Accesado el 26 de diciembre del 2007.
12. **COYNE M. 2000.** Microbiología del Suelo: un enfoque exploratorio. Edit. Paraninfo. Madrid. 524 p.
13. **DEVLIN R. 1970.** Fisiología Vegetal. Edit. Omega S.A. Barcelona. Madrid. 614 p.
14. **DOMINGUEZ A. 1989.** Tratado de Fertilizantes. Edit. Mundi Prensa. Madrid. 601 p.

15. **ESTRADA, J. 1986.** Curso de nutrición mineral de las plantas. UNA La Molina. Lima – Perú. 196 p.
16. **FAO, 2007.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Microorganismos efectivos, mineralización del fósforo, microorganismos solubilizadores del fósforo (MSF), disponible en http://www.fao.org/ag/aql/agll/ipns/index_es.jsp?term=e045&letter=M
http://www.fao.org/ag/aql/agll/ipns/index_es.jsp?term=p105&letter=M
http://www.fao.org/ag/aql/agll/ipns/index_es.jsp?term=p070&letter=M
Accesado el 28 de diciembre del 2007.
17. **FASSBENDER, H. 1984.** La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación. Fitotécnia Latinoamericana. Vol.3, Número 1. 398 p.
18. **FASSBENDER, H. y BORNEMISZA, E. 1987.** Química de suelos, con énfasis en los suelos, de América Latina. 2 da. Edición. Editorial IICA. San José – Costa Rica. 420 p.
19. **FINCK, A. 1985.** Fertilizantes y Fertilización. Edit. Reverté. S.A. Barcelona. 227 p.
20. **FUNES, F. 2007.** Alimentación, medio ambiente y salud: integrando conceptos. LEISA revista de agroecología. Salud y agricultura. Vol. 23, Número 3. 50 p.
21. **HAYWARD, H. 1953.** Estructura de las plantas Útiles. Editorial Acme S.A. Buenos Aires. 667 p.
22. **HIGA, T y PARR, J. 1991.** Microorganismos efectivos (ME o EM), Fundación de Asesorías para el Sector Rural (FUNDASES) disponible en <http://www.fundases.com/p/em01.html>. Accesado 10 de diciembre del 2007.
23. **HIGA T. 1993.** Una revolución para salvar la tierra. EM Research Organization. Okinawa. 332 p.
24. **INFOAGRO 2007:** El cultivo del tomate (3^{era} Parte) disponible en <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate3.htm>. Accesado 03 enero del 2008.
25. **KUPRAT. 2004.** Microorganismos efectivos disponible en <http://www.agua-viva.info/es/microorg.htm>. Accesado 26 de diciembre

del 2007.

26. **PAÚL, E. A. y CLARK, F. E. 1989.** Soil Microbiology and Biochemistry. Academia Press San Diego California. 231 p.
27. **PRIMO, E. y CARRASCO, J. 1973.** Química Agrícola. Tomo I. Suelos y Fertilizantes. Edit. Alhambra S.A. Madrid 198 p.
28. **RAMÍREZ, F. 2000.** Consumo de Fertilizantes en el Perú. Corporación Misti S.A. Lima. Disponible en <http://www.misti.com.pe/>. Accesado 15 de enero del 2008.
29. **RAYMOND, D. 1984.** Cultivo Práctico de Hortalizas. Editorial Continental S.A. México. 256 p.
30. **RODRIGUEZ, F. 1982.** Fertilizantes, Nutrición Vegetal. A.G.T. Editor S.A. México 75 p.
31. **RUSSELL, J. Y RUSSELL, W. 1968.** Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. Edit. Aguilar. Madrid. 217 p.
32. **SISTEMA DE INFORMACIÓN AGRARIA – HUARAL (SIA-HUARAL).** El cultivo de tomate. Disponible en www.sia.huaral.org/sia_uploads/ec06355af5fedeeef1ec61030822a9a09/tomate_ficha.pdf. Accesado 03 de enero del 2008.
33. **SUQUILANDA, M. 2001.** Curso internacional sobre elaboración de abonos orgánicos. Corporación PROEXANT. Quito. Disponible en http://www.pidecafe.com.pe/textos/txt_6.doc
<http://www.humano.ya.com/holbeja/abonos.htm> Accesado 28 de Junio del 2007.
34. **HOMPSON, L. 1974.** El suelo y su fertilidad. Edit. Reverté. Madrid. 356 p.
35. **TINEO, A. 2006.** Superficies de Respuestas. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, UNSCH. Ayacucho. 81 p.
36. **TISDALE Y NELSON. 1987.** Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Edit. UTEHA. México. 498 p.
37. **TUME, H. 2005.** ¿QUÉ SABE USTED DE LOS FOSFATOS? “El regional de Piura”. Disponible en http://www.elregionalpiura.com.pe/archivosnoticias/2005_03/marzo13/fosfatos_teoría.htm. Accesado 26 de noviembre del 2007.

38. VALENZUELA, E. y otros. 2002. Solubilización de roca fosfórica carolina del norte con cepas de *Aspergillus niger* aisladas desde un suelo trumao. Boletín Micológico Vol. 17. Valdivia. 88 p. Disponible en http://www.uv.cl/servicios/externos/lab_micologia/boletines/micologia%2002_002/4.4%20roca_fosforica.pdf. Accesado 30 de noviembre del 2008.

ANEXO

TRATAM.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Días de incub.	0	20	0	20	0	5	15	20	10	10	10	10	10
Niveles de R.F.	50	50	1050	1050	550	550	550	550	50	300	800	1050	550
R E P E T I C.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

FIGURA 1: CROQUIS DEL EXPERIMENTO

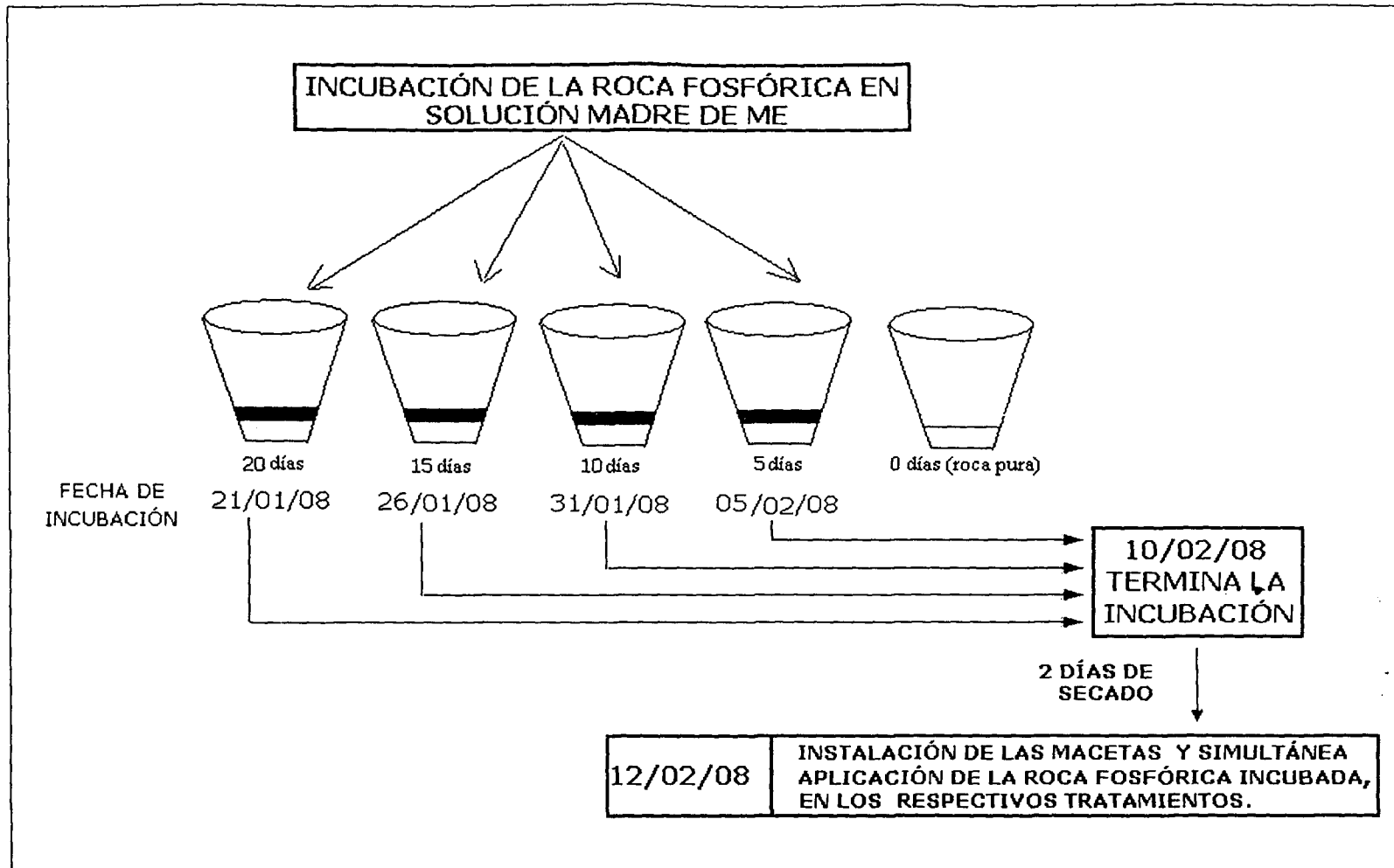


FIGURA 2: PERÍODOS DE INCUBACIÓN DE LA ROCA FOSFÓRICA EN UNA SOLUCIÓN MADRE DE MEN.

CUADRO 1: RESULTADOS DE RENDIMIENTO (g) DE TOMATE – FRUTO.

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	
Días de Incubación en MEN	0	20	0	20	0	5	15	20	10	10	10	10	10	
Niveles de Roca Fosfórica	50	50	1050	1050	550	550	550	550	50	300	800	1050	550	
REPETICIÓN	1	151.88	820.57	396.31	1010.03	472.71	539.78	1061.73	1573.33	225.45	512.88	912.11	1133.93	851.27
	2	188.34	918.33	308.39	1105.67	508.34	513.90	749.86	656.73	156.90	508.01	811.93	924.29	776.35
	3	189.93	784.85	406.86	970.17	511.13	451.83	761.62	715.00	320.81	227.69	925.64	769.91	868.43
TOTAL	530.15	2523.75	1111.56	3085.87	1492.18	1505.51	2573.21	2945.06	703.16	1248.58	2649.68	2828.13	2496.05	
PROMEDIO	176.72	841.25	370.52	1028.62	497.39	501.84	857.74	981.69	234.39	416.19	883.23	942.71	832.02	

CUADRO 2: RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA (g) DE TOMATE (FOLIAR)

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	
Días de Incubación en MEN	0	20	0	20	0	5	15	20	10	10	10	10	10	
Niveles de Roca Fosfórica	50	50	1050	1050	550	550	550	550	50	300	800	1050	550	
REPETICIÓN	1	16.91	40.08	24.34	45.38	20.21	27.13	60.23	61.46	30.37	26.96	28.16	45.68	46.84
	2	16.59	53.67	25.06	53.40	21.69	27.20	51.16	41.02	18.84	16.73	27.33	27.76	56.59
	3	16.15	50.55	21.27	56.80	29.93	34.48	43.18	48.99	17.27	13.78	28.62	25.09	37.36
TOTAL	49.65	144.30	70.67	155.58	71.83	88.81	154.57	151.47	66.48	57.47	84.11	98.53	140.79	
PROMEDIO	16.55	48.10	23.56	51.86	23.94	29.60	51.52	50.49	22.16	19.16	28.04	32.84	46.93	

CUADRO 3: RESULTADOS DE LA LONGITUD POLAR (mm) DEL FRUTO DEL TOMATE

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	
Días de Incubación en MEN	0	20	0	20	0	5	15	20	10	10	10	10	10	
Niveles de Roca Fosfórica	50	50	1050	1050	550	550	550	550	50	300	800	1050	550	
REPETICIÓN	1	51.00	58.00	55.00	64.00	54.00	56.00	56.00	58.00	56.00	57.00	57.00	70.00	62.00
	2	49.00	56.00	53.00	62.00	55.00	61.00	56.00	61.00	55.00	61.00	67.00	64.00	58.00
	3	48.00	57.00	52.00	65.00	56.00	55.00	59.00	66.00	62.00	65.00	62.00	66.00	60.00
TOTAL	148.00	171.00	160.00	191.00	165.00	172.00	171.00	185.00	173.00	183.00	186.00	200.00	180.00	
PROMEDIO	49.33	57.00	53.33	63.67	55.00	57.33	57.00	61.67	57.67	61.00	62.00	66.67	60.00	

CUADRO 4: RESULTADOS DEL DIÁMETRO (mm) DEL FRUTO DEL TOMATE

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	
Días de Incubación en MEN	0	20	0	20	0	5	15	20	10	10	10	10	10	
Niveles de Roca Fosfórica	50	50	1050	1050	550	550	550	550	50	300	800	1050	550	
REPETICIÓN	1	32.00	41.00	37.00	39.00	31.00	35.00	41.00	44.00	39.00	44.00	40.00	46.00	48.00
	2	28.00	39.00	37.00	40.00	28.00	41.00	45.00	46.00	40.00	40.00	43.00	41.00	42.00
	3	31.00	41.00	36.00	39.00	37.00	37.00	39.00	49.00	38.00	39.00	37.00	46.00	42.00
TOTAL	91.00	121.00	110.00	118.00	96.00	113.00	125.00	139.00	117.00	123.00	120.00	133.00	132.00	
PROMEDIO	30.33	40.33	36.67	39.33	32.00	37.67	41.67	46.33	39.00	41.00	40.00	44.33	44.00	

RESULTADO DE LOS TRATAMIENTOS, DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS ESTUDIADOS

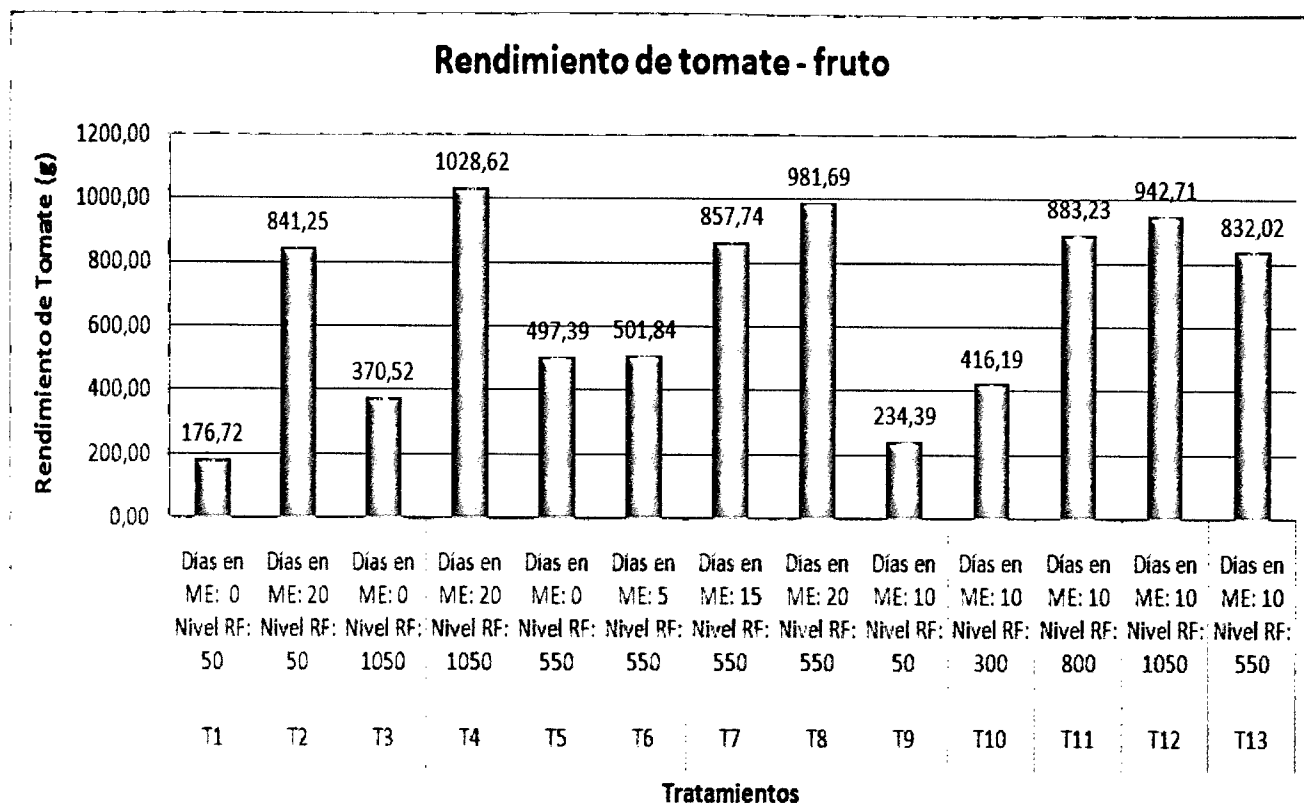


GRAFICO 1: Rendimiento de tomate – fruto.

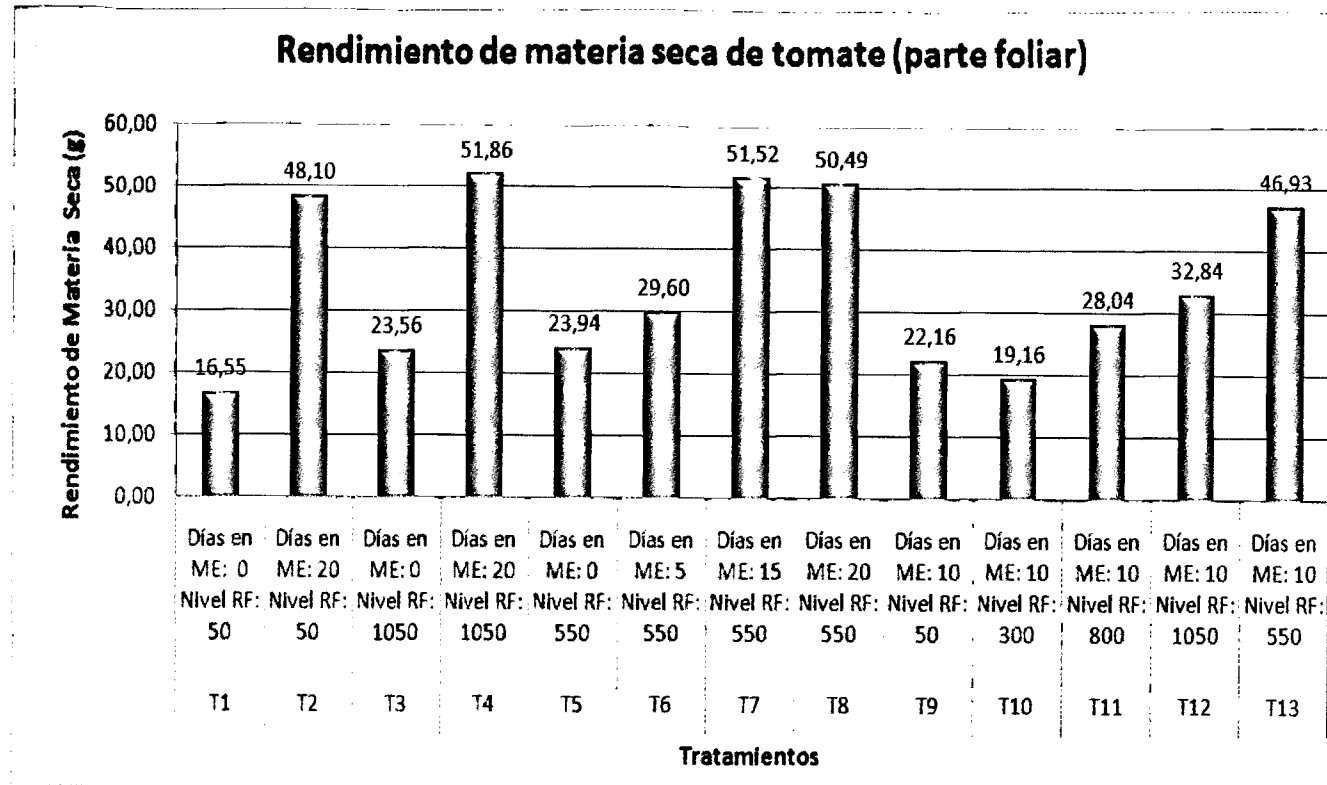


GRAFICO 2: Rendimiento de materia seca en tomate.

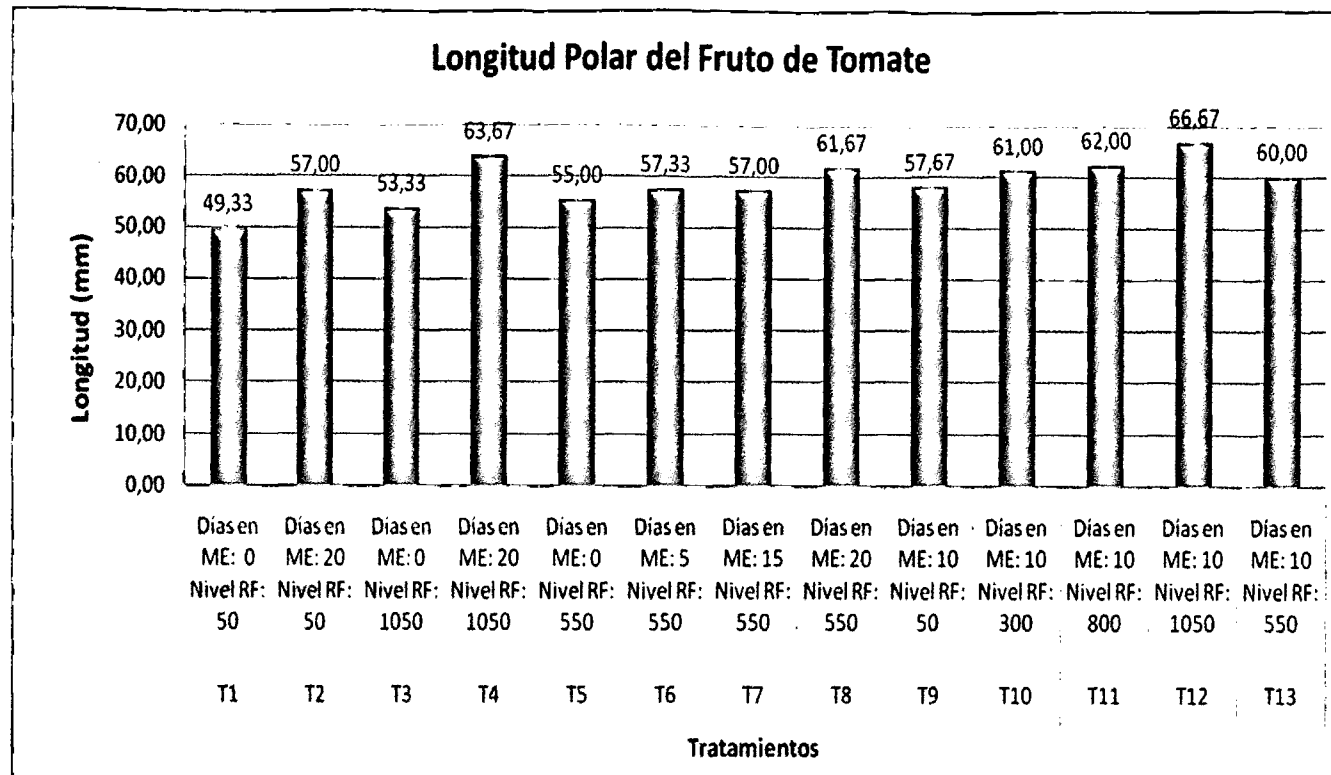


GRAFICO 3: Longitud del fruto de tomate.

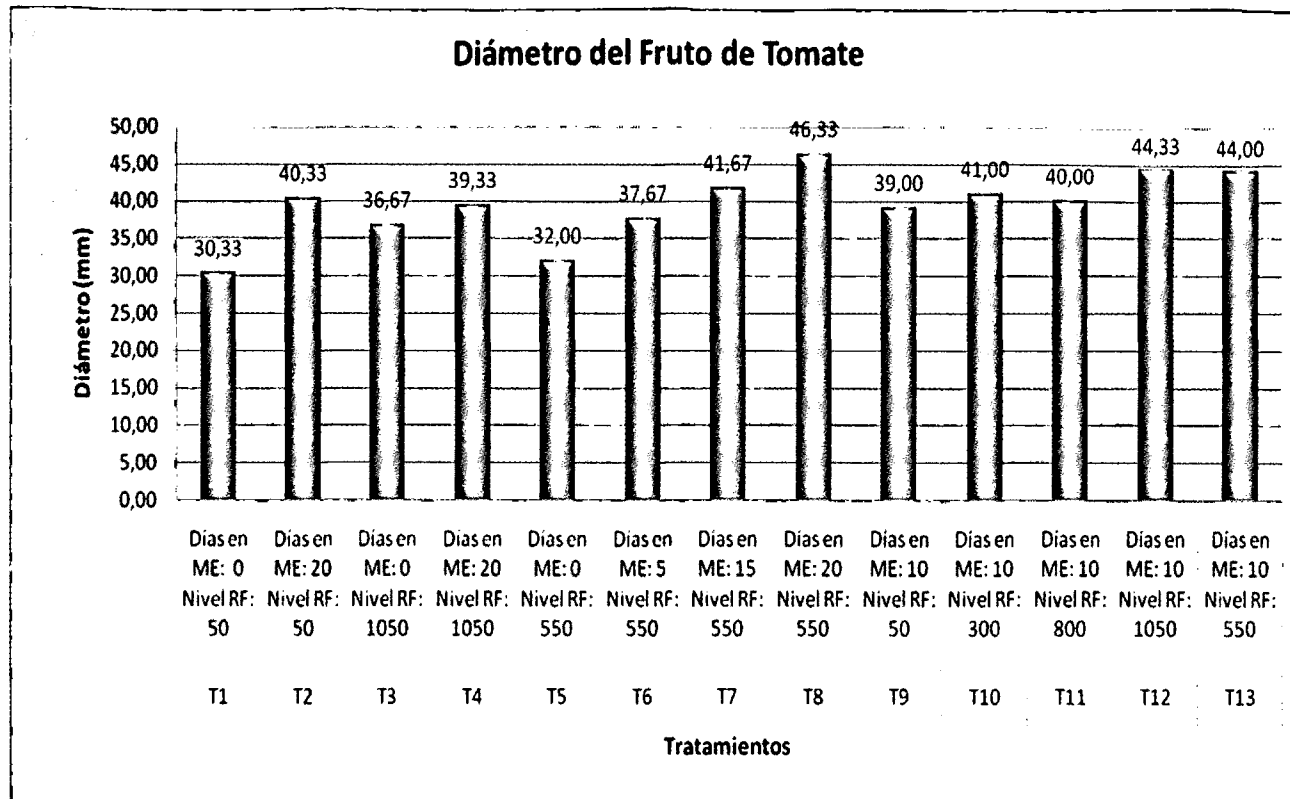


GRAFICO 4: Diámetro del Fruto de Tomate.

FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Preparación de sustrato para capturar microorganismos



Foto 1: Preparación del Arroz cocido:
aproximadamente 150 g.



Foto 2: Recipiente cubierto con tela nylon y asegurado para ser enterrado en la compostera.

Captura de los microorganismos



Foto 3: Recipiente enterrado, debajo de 10 cm.
durante 2 semanas.

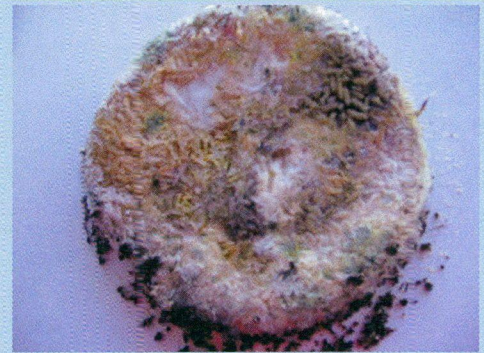


Foto 4: Arroz impregnado de
microorganismos, luego de 2 semanas de
enterradas.

Preparación de la Solución Madre de Microorganismos Naturales

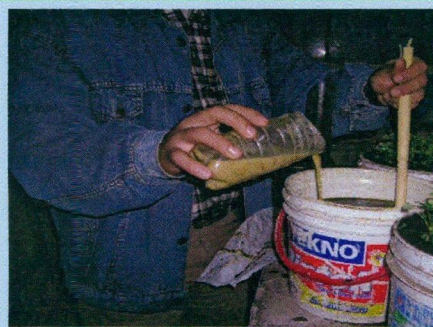


Foto 5: Preparando la solución de
microorganismos en una proporción 1:3 (1 litro
de melaza y 3 agua), se agrega el arroz licuado
impregnado de microorganismos.



Foto 6: Solución madre de MEN, fermentado
durante una semana.

Tratamiento de la Roca Fosfórica.



Foto 7: Roca Fosfórica de Bayobar: Aspecto Arenoso, Color Marrón Claro.
% P_2O_5 total = 28.76 % CaO Total = 46.9.



Foto 8: Proceso de incubación de la Roca Fosfórica en MEN Durante diferentes periodos: 0, 5, 10, 15, 20 días.

Instalación de las unidades experimentales.



Foto 9: Suelos de alrededores del invernadero de Programa de Investigación en Pastos y Ganadería.



Foto 10: Limpieza y tamizado del suelo.



Foto 11 Almacigo de Tomate.



Foto 12: Instalación del experimento.



Foto 13: Pántulas de tomate recién trasplantadas

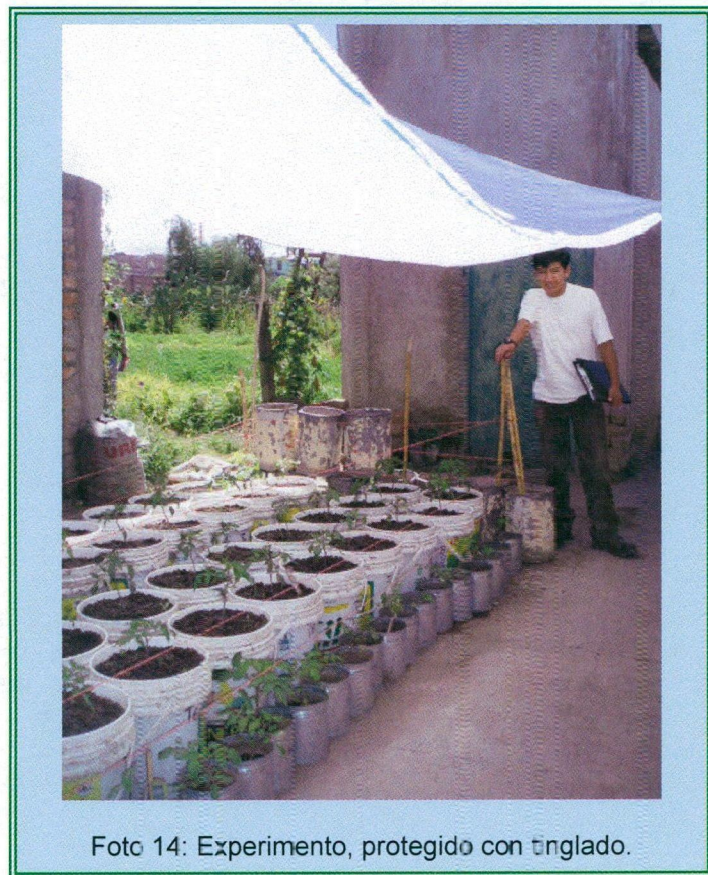


Foto 14: Experimento, protegido con tnglado.

Primeras manifestaciones de diferenciación entre los tratamientos







Foto 20: Plantas de 5 semanas: Tratamiento 3 y 4 con alta dosis de abonamiento. En el T3 roca fosfórica sin incubar; el T4 con roca fosfórica incubada.



Foto 21: El tratamiento 3, evidencia un escaso vigor de la planta de tomate.



Foto 22: El tratamiento 4, evidencia buen vigor de la planta de tomate.



Foto 23: Tratamiento 3, muestra síntoma de deficiencia de Fósforo (Antocianescencia).



Foto 24: Plantas de 5 semanas; se observa los tratamientos 5 y 6.



Foto 25: Plantas de 5 semanas; muestra tratamiento 7 y 8, ambos con RF incubada durante 15 y 20 días.

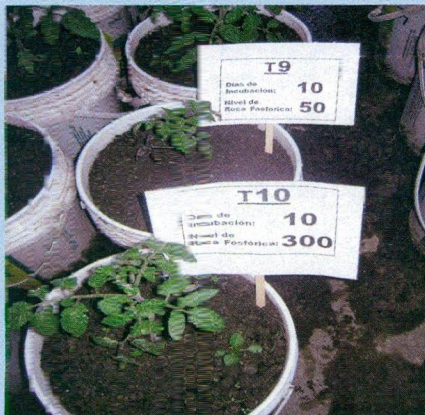


Foto 26: Plantas de 5 semanas; tratamientos 9 y 10.



Foto 27: Deficiencia típica de Fósforo



Foto 28: Plantas de 5 semanas; tratamientos 11 y 12.



Foto 29: Plantas de 5 semanas; tratamiento 13

Diferenciaciones en los Tratamientos durante la Floración de las plantas de Tomate.





Foto 33: Evidente diferencia entre los tratamientos T5, T6, T13, T7 y T8. Razón por la cual, se atribuye efecto positivo a los MEN en la solubilización de la Roca Fosfórica



Foto 34: Evidente diferencia entre los tratamientos T9, T10, T13, T11 y T12. Indica que a mayor aplicación de Roca Fosfórica Incubada durante 10 días; posiblemente mayor aporte de fósforo disponible para la planta.

Protección del trabajo de investigación de las heladas nocturnas durante el mes de Junio.



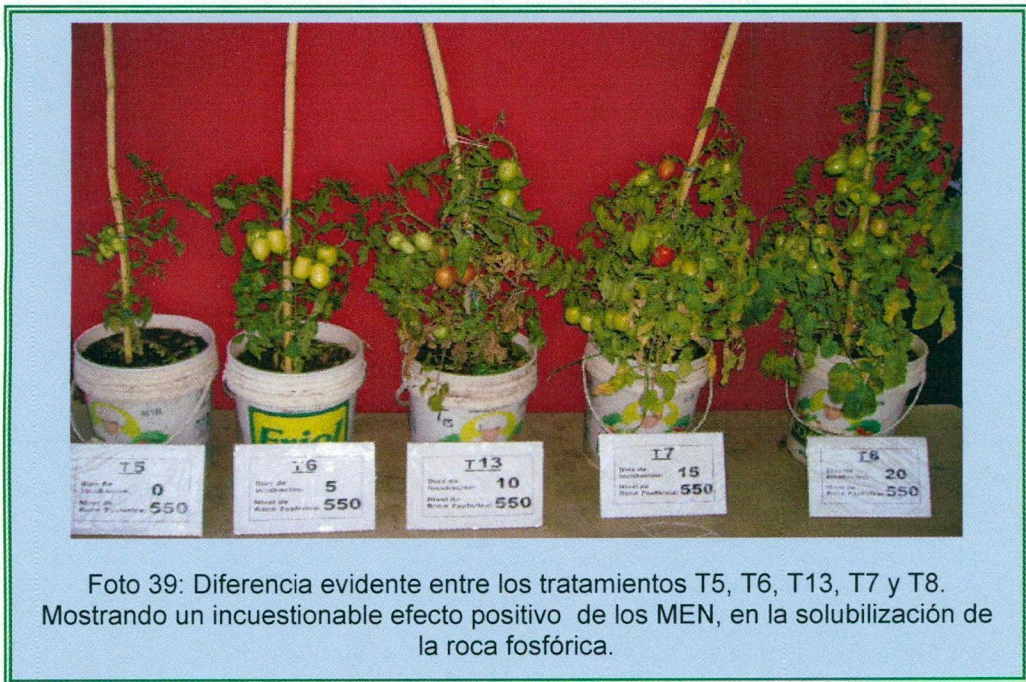






Foto 43: Tratamiento 3; Menor rendimiento promedio 370.52 g.



Foto 44: Tratamiento 4; Mayor rendimiento promedio 1028.62 g.



Foto 45: Tratamiento 5; Menor rendimiento promedio 497.39 g.



Foto 46: Tratamiento 6; Menor rendimiento promedio 501.84 g.



Foto 47: Tratamiento 7; Rendimiento promedio 857.74 g.

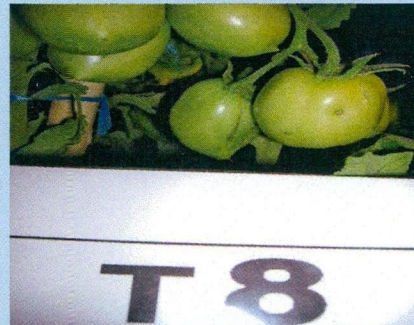


Foto 43: Tratamiento 8; Rendimiento promedio 981.69 g.



Foto 49: Tratamiento 9; Menor rendimiento promedio 234.39 g.



Foto 50: Tratamiento 10; bajo rendimiento promedio 416.19 g.



Foto 51: Tratamiento 11; Alto rendimiento promedio 883.23 g.



Foto 52: Tratamiento 12; Alto rendimiento promedio 942.71 g.



Foto 53: Tratamiento 13; Alto rendimiento promedio 832.02 g.



Foto 54: Obtención de peso de frutos



Foto 55: Primera cosecha de tomate. Tratamientos T1, T2, T3 Y T4.

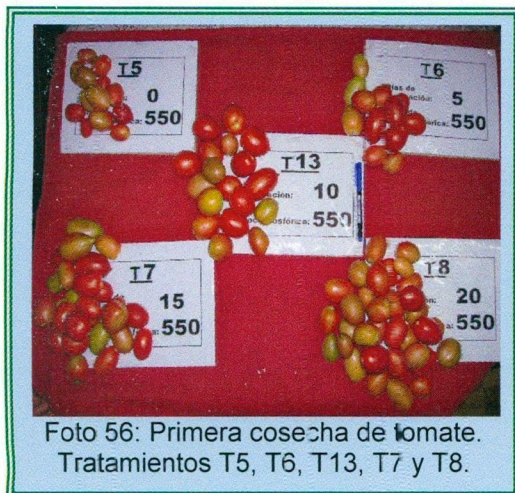


Foto 56: Primera cosecha de tomate. Tratamientos T5, T6, T13, T7 y T8.



Foto 57: Primera cosecha de tomate. Tratamientos T9, T10, T13, T11 y T12.

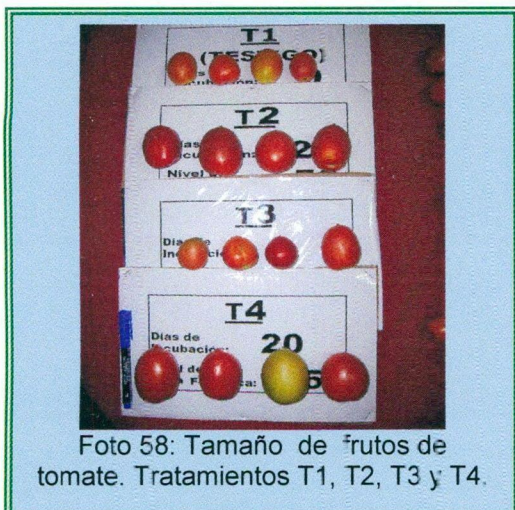


Foto 58: Tamaño de frutos de tomate. Tratamientos T1, T2, T3 y T4.

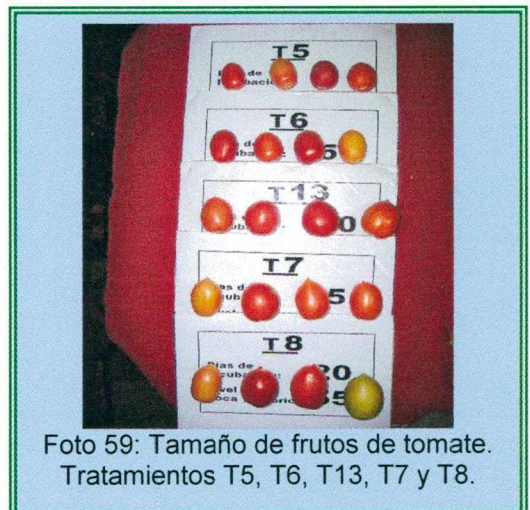


Foto 59: Tamaño de frutos de tomate. Tratamientos T5, T6, T13, T7 y T8.

