

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE PROPORCIONES DE ROCA FOSFÓRICA: FLOR
DE AZUFRE CON DOS FUENTES ORGÁNICAS, EN EL
RENDIMIENTO DE DOS CULTIVOS INDICADORES, EN
SUELO ALCALINO - AYACUCHO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
JUAN CARLOS PRADO FLORES**

**AYACUCHO - PERÚ
2017**

**EFFECTO DE PROPORCIONES DE ROCA FOSFÓRICA: FLOR
DE AZUFRE CON DOS FUENTES ORGÁNICAS, EN EL
RENDIMIENTO DE DOS CULTIVOS INDICADORES, EN
SUELO ALCALINO – AYACUCHO**

Recomendado : 28 de marzo de 2017

Aprobado : 19 de mayo de 2017

Ing. EDUARDO ROBLES GARCÍA
Presidente de Jurado

Ph. D. MARHLENI CERDA GÓMEZ
Asesora

Ing. M.SC. ALEX LÁZARO TINEO BERMÚDEZ
Miembro

Ing. JUAN BENJAMÍN GIRÓN MOLINA
Miembro

Dr. ANTONIO JERÍ CHÁVEZ
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

DEDICATORIA

A Dios por las bendiciones,
de cada día.

A mis padres y hermanos
por su constante apoyo, en
el cumplimiento de mi
formación profesional.

A mi querida universidad,
por ayudarme a encontrar
un sentido a mi vida

AGRADECIMIENTO

- A la gloriosa Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Facultad de Ciencias Agrarias.
- A la Escuela de Formación Profesional de Agronomía, alma máter de mis estudios profesionales, donde me inculcaron los conocimientos necesarios para alcanzar mis metas.
- A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por sus enseñanzas y orientaciones en cada etapa de mi formación. Especial agradecimiento a mi asesora Ph.D. Marhleni Cerda Gómez por su asesoramiento y aporte en el desarrollo y conducción del presente trabajo.
- A mis padres por su constante apoyo en llevar cabo la culminación de mi profesionalización.
- A mis amigos y demás personas que intervinieron en la realización y conclusión de esta investigación

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	07
INTRODUCCIÓN	08
I. REVISIÓN DE LITERATURA	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Fósforo	16
1.3. Necesidad de un desarrollo sostenible	20
1.4. Roca fosfórica de aplicación directa en agricultura	21
1.5. Mecanismos de movilización del fósforo insoluble	31
1.6. Factores que influyen en el proceso de incubación de las rocas fosfóricas	33
1.7. Flor de azufre	36
1.8. El humus	38
1.9. Humus líquido	41
1.10. Estiércol de ovino	44
1.11. Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	48
1.12. Maíz (<i>Zea mayz</i> sp.)	51
II. MATERIALES Y MÉTODOS	57
2.1. Ubicación	57
2.2. Suelo empleado	57
2.3. Macetas	58

2.4. Plantas indicadoras	58
2.5. Almacigado de tomate	58
2.6. Tratamientos	59
2.7. Distribución de tratamientos	60
2.8. Instalación y conducción del experimento	60
2.9. Parámetros de evaluación	62
2.10. Diseño experimental y análisis estadístico	63
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
3.1. Primer cultivo (tomate)	64
3.2. Segundo cultivo (maíz)	67
3.3. Del contenido de fósforo disponible al final del ensayo	79
3.4. Del pH del suelo, al final del ensayo	81
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
4.1. Conclusiones	85
4.2. Recomendaciones	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	96

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en los ambientes del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. En suelo alcalino se estudió proporciones de 1:1; 3:1 y 5:1 de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) junto al estiércol de ovino (EO), humus líquido (HL) y sin fuentes orgánicas; haciendo un total de 09 tratamientos más 03 adicionales, para evaluar el efecto agronómico sobre el rendimiento de dos cultivos indicadores consecutivos, el pH y el contenido de fósforo disponible del suelo. Los tratamientos fueron dispuestos en macetas de 4 kg de capacidad, en un Diseño Completamente Randomizado (DCR) con tres repeticiones, haciendo un total de 27 unidades experimentales. Durante 06 meses se obtuvo que la incorporación de las 03 proporciones de RF: FS junto al humus líquido (1:1; 3:1 y 5:1) y 1RF: 1FS sin fuentes orgánicas, permitieron mayor rendimiento (materia seca) de la parte aérea del segundo cultivo indicador (maíz) sin diferenciarse entre sí.

A 06 meses de la incorporación de las proporciones de 1RF: 1FS, el contenido de fósforo disponible sufrió un ligero incremento en el suelo al incorporar 5RF: 1E respecto al testigo.

El pH del suelo disminuye ligeramente en 0.33 unidades, siendo con humus líquido el mayor efecto.

INTRODUCCIÓN

En general los suelos del departamento de Ayacucho son deficientes en fósforo disponible. Así Arias (1978, citado por Tineo, 1987 y Gil, 1994), manifiestan que el fósforo disponible en los suelos de Ayacucho oscilan de 0 - 68.3 ppm con promedio de 15.73 ppm (Bray y Kurtz I); lo que explica porque la necesidad de aportar este elemento vía fertilización y por ello casi siempre se recurre a los abonos sintéticos a fin de obtener una mayor producción en los cultivos. Sin embargo, paralelamente también se afecta al medio ambiente, razón por la cual Lang (2013), señala que los fertilizantes químicos aumentan la producción de alimentos en todos los países del mundo y los efectos negativos en el medio ambiente, también son indiscutibles, concluyendo que su uso no sería beneficioso.

Afortunadamente existe otra alternativa para cubrir el requerimiento de fósforo y el Perú cuenta con un gran yacimiento; se trata de la roca fosfórica; sin embargo éste recurso posee limitaciones, pues posee baja solubilidad y no es útil en todos los suelos. Al respecto Black (1971, citado por Carbajal, 2004), por estudios realizados encontró que la solubilidad posee gran

dependencia al pH del suelo en razón a que la roca es una apatita hidroxidada. De este modo al disminuir el pH del suelo, su solubilidad aumenta en forma exponencial, también la velocidad de disolución varía por el grado de finura y de calcinación. Por lo que el aprovechamiento de la roca fosfórica será significativo solamente en ciertas condiciones como en suelos ácidos y en cultivos de periodo vegetativo largo. Limitaciones que no hacen posible su uso masificado. Por lo tanto en principio habrá que ver la posibilidad de incrementar su solubilidad para lo cual se recurre a la incubación con sustancias como la flor de azufre o azufre elemental, junto a microorganismos que contribuyan con la oxidación de este último, al punto de generar acidez, con lo que se estaría favoreciendo la solubilización de la roca. De otro lado los microorganismos o más específicamente las bacterias oxidativas, están presentes en diferentes materias orgánicas así como por ejemplo el estiércol de ovino y probablemente en el humus líquido; cuya población microbiana influiría en el aprovechamiento del fósforo desde la roca fosfórica.

En consecuencia, el uso apropiado de roca fosfórica, flor de azufre y fuentes orgánicas (estiércol de ovino y humus líquido), podría contribuir en el uso o empleo de esta fuente natural de fósforo en todo tipo de suelo y especialmente en los alcalinos, pues se encuentran enmarcadas como fuentes sustentables de abonamiento en la agricultura.

En tal sentido en el presente trabajo se propuso aplicar a diferentes suelos alcalinos 03 proporciones de roca fosfórica: flor de azufre junto a las fuentes

orgánicas (estiércol de ovino y humus de líquido) y evaluar su efecto en el rendimiento de 02 cultivos indicadores, con los siguientes objetivos:

1. Determinar la proporción de roca fosfórica: flor de azufre y fuentes orgánicas (estiércol de ovino y humus líquido) de mayor efecto en el pH y contenidos del fosforo disponible en suelo alcalino.
2. Determinar las fuentes orgánicas (estiércol de ovino y humus de lombriz) de mayor efecto sobre el rendimiento de dos cultivos indicadores consecutivos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Antecedentes

Trabajos realizados por Ibáñez (1971); Paredes (1970) y Arias (1978) citado por Jones (1978) demuestran la existencia insuficiente del fósforo en los suelos de Ayacucho; así como en muchos suelos del mundo; mientras Cerda (1987, citado por Carbajal, 2004), indica que el 85.19% de los suelos alto andinos presentan deficiencias de fósforo disponible.

Girón (1978) y Fassbender (1986) citados por Gil (1994) señalan que el contenido de fósforo total en suelos minerales de clima templado varía entre 200 – 800 ppm y en casos extremos reportan de 18 – 300 ppm, para suelos derivados de cenizas volcánicas. Esto se debe a las rocas parentales, grado de meteorización, desarrollo del suelo, pH, granulometría y condiciones

ecológicas.

Tisdale (1982) y Domínguez (1989) citado por Gil (1994) señalan que en suelos alcalinos el grado de adsorción de iones de fosfato que se encuentra en contacto con la fase sólida de CaCO_3 , depende de la superficie activa de la caliza aumentando a medida que las partículas de éstas son menores. Los productos derivados de la adsorción dependen, tanto de la cantidad de fósforo, calcio, como del pH y de la presencia de otros cationes.

Según el Peruano (1978, citado por Laura, 1990), la roca fosfórica constituye un fertilizante natural de excelente calidad para la agricultura, particularmente para suelos pobres de fósforo de la sierra y ceja de selva de nuestro país. Al ser aplicados sobre la superficie del terreno, dan excelentes resultados en la producción de pastos cultivados, así como cultivos de papa, maíz, arroz y yuca; resulta muy económico, por su alto poder residual que supera a otros fertilizantes sintéticos. Pero en su utilización esta presenta ciertas dificultades, de acuerdo a Black (1975), debido a que su solubilidad es ínfima, en estudios realizados se ha encontrado gran dependencia del pH, el cual explica a partir del producto de solubilidad de las apatitas hidroxidadas.

Coyne (2000, citado por Huamán, 2010) menciona que existen tres mecanismos básicos para solubilizar el fósforo mineral y hacer que resulte disponible para la planta: la quelatación, reducción de hierro y la

acidificación; todos los métodos desestabilizan los minerales en las que se encuentra el fósforo. Los compuestos orgánicos fabricados por los microorganismos, como el ácido oxálico, pueden 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, ácido nítrico (producido por agentes nitrificantes), el ácido sulfúrico (producido por los tiorbacilos) y el ácido carbónico (H_2CO_3) liberan fósforo de formas minerales.

Morrillo, Sequera y Ramírez (2003) señala que la acidez parcial de la roca fosfórica (RF) con ácido sulfúrico, ha sido usada con éxito para mejorar su solubilización e incrementar la eficiencia agronómica de esta fuente de fósforo (P). Para comprobar la efectividad de la roca fosfórica (RF) tratada con ácido sulfúrico y/o tiosulfato de amonio (TSA), se realizaron dos experimentos de invernadero con plantas de frijol cultivadas en potes. En el primer experimento se usó un suelo ácido (pH 3.3) deficiente en fósforo, mientras que en el segundo se usó el mismo suelo, encalado hasta pH 5.4. Las fuentes fosfatadas evaluadas fueron RF sin acidular, RF acidulada con ácido sulfúrico (RA), RF acidulada con una mezcla de 30% de TSA y 70% de ácido sulfúrico (R30T), RF acidulada con 100% de TSA (R100T), y fosfato diamónico (FDA), además de un testigo sin tratar. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente aleatorio con tres repeticiones. Después de 35 días de crecimiento del frijol se determinó la materia seca (MS), el P y Ca absorbido y el P y Ca residual en el suelo. La

eficiencia de las fuentes de fósforo en términos de incremento de MS y el fósforo absorbido siguió el orden, $FDA > R30T = RA > RF = R100T$, en ambos ensayos. Los tratamientos R30T y RA presentaron igual efectividad, y en vista de que en experiencias previas se obtuvo similar respuesta en plantas gramíneas, se concluye que R30T representa una alternativa de roca fosfórica parcialmente acidulada económica para ser usada en una amplia gama de cultivos de ciclo corto como el frijol.

López et al. (1990, citado por Sequera y Ramírez, 2003) indica que el incremento en el rendimiento de materia seca (MS) del maíz, fue mayor a medida que se disminuyó el tamaño de partícula de la RF; mientras Panda y Misra (1970, citado por Sequera y Ramírez, 2003), considera que la forma más eficiente es mejorar la calidad de la RF, por medio de la acidulación parcial; según Kaddi et al. (1991, citado por Sequera y Ramírez, 2003) en este proceso preferentemente se usa el ácido sulfúrico, debido a su menor costo.

Friesen et al. (1987); Salas y Wense (1993) citado por Sequera y Ramírez (2003) encontraron que la RF de riecito acidulada, es un recurso válido como fuente de fósforo para algunos cultivos. La aplicación de azufre elemental al suelo en contacto con la RF ha demostrado tener capacidad de solubilización de la RF, incrementando la disponibilidad de fósforo y la absorción por la planta.

Ramírez et al. (1992, citado por Sequera y Ramírez, 2003) en un experimento preliminar demostró, que tratando la RF con tiosulfato de amonio (TSA) era posible mejorar la capacidad de la roca fosfórica, para poder suministrar fósforo disponible al suelo, como el que se logra acidulando la RF con ácido sulfúrico, demostrando que sería una buena alternativa de sustitución.

Mientras Marcano, Mohsin y Rodríguez (1999), para complementar la deficiencia de fósforo (P) en los compostes elaborados con bora (*Eichornia crassipes*) y otros materiales orgánicos a través del proceso de descomposición aeróbica, manteniendo la humedad en un 60%; prepararon cinco fosfo-compostes mezclando bora, estiércol de ganado, lodo rizósfera de frijol, fertilizantes (urea y KCl) y una roca fosfórica (RF) de Navay, Estado Táchira, utilizando como control, tres compostes elaborados sin la adición de RF. Evaluando cada 15 días (d), durante el período de incubación de 120 d, la cantidad de fósforo disponible (CPD), potasio y nitrógeno amoniacal, así como el contenido total de éstos al final del compostaje. Los resultados indicaron que el CPD en los fosfocompostes se diferenciaron significativamente de los controles ($P < 0.001$). Las mayores concentraciones se encontraron en los abonos preparados con bora-estiércol-RF (F_4 459.56 mg/kg) y bora-lodo-RF (F_5 472.66 mg/kg), respectivamente, mientras que los elaborados con un composte maduro-RF (F_3) y bora-fertilizantes-roca-RF (F_2) presentaron bajo contenido de fósforo (321.63 y 321.94 mg/kg, respectivamente). A los 15 días de incubación, el composte bora-

fertilizantes-RF alcanzó el mayor CPD (574 mg/kg) y disminuyó a 321.94 mg/kg, al final del compostaje, debido a la variación del NH_3 proveniente de la hidrólisis de la urea. De los contenidos totales de P, N y K en los compostes, el K presentó la mayor concentración. Además, cabe mencionar que se produjo una baja disolución de la RF durante el compostaje de la bora.

1.2. Fósforo

Tisdale y Nelson (1970) menciona que el fósforo como el nitrógeno y el potasio, se clasifica como un elemento mayor. Domínguez (1984) señala que ésta es procedente de las rocas ígneas y de los meteoritos en los que se encuentra apatita cristalina; el contenido de la roca puede variar desde 0.2% de P_2O_5 (granito) y hasta el 30% (apatita). El contenido de fósforo total en el suelo es generalmente inferior al 0.20%.

El fósforo total en los suelos de Ayacucho, de acuerdo a Jones (1978), varía entre 947 ± 143 ppm en la capa superficial (0-20 cm) y 1033 ± 217 ppm para horizontes de profundidad (20-40 cm); Arias (1978, citado por Tineo, 1987 y Gil, 1994) menciona que el fósforo disponible oscila entre 0-68.3 ppm, con un promedio de 13.6 ± 15.73 ppm (método Bray y Kurtz I), mientras para el método Olsen la variación fue de 1-47 ppm con un promedio de 15 ± 12 ppm.

1.2.1. El fósforo en el sistema suelo-planta

FAO (2007) señala que el fósforo es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza junto al nitrógeno y el potasio, y es un constituyente primario de los seres vivos, vegetales y animales. De acuerdo a Buckman y Brady (1985) exceptuando al nitrógeno, ningún elemento es tan decisivo para el crecimiento de las plantas, como el fósforo. Bidwell (1979) señala que el fósforo, así como el nitrógeno es muy importante como parte estructural de muchos compuestos, principalmente de ácidos nucleicos y fosfolípidos. El fósforo es uno de los elementos esenciales requeridos para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las plantas con deficiencias de fósforo poseen un crecimiento retardado y a menudo presentan un color verde oscuro y rojizo.

Coll (2009) indica que el fósforo forma parte también de otros componentes de las plantas como Piridoxal fosfato, que es una coenzima de los sistemas de transaminación y ácido fítico, principalmente en forma de reserva de fósforo en las semillas.

Black (1975) indica que el fósforo es un macronutriente esencial para las plantas y las influencias más importantes que éstas generan, de acuerdo a Buckman (1993), son las siguientes:

1. División celular y crecimiento, así como formación de albuminas.
2. Floración y fructificación, así como formación de semilla.
3. Desarrollo de raíces, particularmente de las raicillas laterales y fibrosas.

4. Maduración de las cosechas, atemperando así los efectos de aplicaciones excesivas de nitrógeno.
5. Robustecimiento de la paja en los cultivos de cereales, ayudando así el encamamiento.
6. Sobre la calidad de la cosecha, sobre todo de los forrajes y hortalizas.
7. Resistencia a ciertas enfermedades.

Black (1975) indica que el fósforo es un macronutriente de peso atómico 31.0 el cual es absorbido por las raíces principalmente como H_2PO_4^- y en menor grado HPO_4^{2-} . El contenido en materia seca de las plantas es de 0.1 - 0.4%. Se menciona en el mercado de los fertilizantes como P_2O_5 (pentóxido de fósforo) ($\text{P} \times 2.29 = \text{P}_2\text{O}_5$): el fósforo en las plantas está involucrado en la transferencia de energía ADP, ATP, etc. Juega un papel importante en la promoción del crecimiento de la raíz, desarrollo del grano y sincronización de la maduración.

El fósforo en el suelo se encuentra casi exclusivamente como ortofosfato, derivándose todos los compuestos de ácido fosfórico. Pueden clasificarse como orgánicos e inorgánicos, dependiendo la naturaleza en la que se halla. En 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.

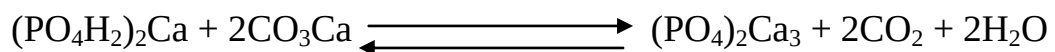
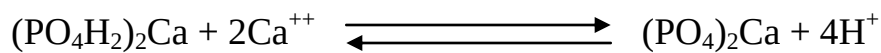
Buckman y Brady (1985) indica que las cantidades de iones absorbidos

(H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) por las plantas están afectados por el pH. Valores bajos de pH incrementa la absorción de HPO_4^{2-} , mientras los valores altos de pH incrementan la absorción de la forma H_2PO_4^- . La primera es absorbida por la planta 10 veces más rápida que la segunda.

Fassbender (1984) indica que la temperatura, precipitación, grado de desarrollo de los suelos, acidez, actividad biológica, determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo.

FAO (2007) señala que la físico-química del fósforo en los suelos minerales es bastante compleja debido a la ocurrencia de una serie de reacciones simultáneas e instantáneas tales como la solubilización, precipitación, adsorción/ desorción y oxidación/reducción. Los compuestos solubles del fósforo presentan reactividad muy alta, solubilidad baja y movilidad reducida. La mineralización e inmovilización son procesos importantes del ciclo del fósforo en el suelo con alto contenido de materia orgánica.

Buckman y Brady (1965) citado por Jones (1978) señala que, en suelos alcalinos, la precipitación del fósforo es producida sobre todo por los compuestos cálcicos. Los iones fosfatos aprovechables, reaccionan tanto con el ion calcio como su carbonato, como se muestra en las siguientes reacciones:



Buckman y Brady (1965); Thomson (1966); Tisdale y Nelson (1965) citado por Jones (1978) mencionan que, al parecer el máximo aprovechamiento del fósforo para las plantas, se obtienen cuando el pH del suelo se mantiene entre 6.0 – 7.0.

1.3. Necesidad de un desarrollo sostenible

Lal (2000) menciona que ante el inminente crecimiento de la población en el mundo pues para el 2020 alcanzaría los 8000 millones. UNEP (2000) señala que el 50% de tierras potencialmente cultivables se hallan bajo cultivos anuales y permanentes, con una extensión de 2000 millones de hectáreas ya degradadas y además este aumenta cada año. FAO (1998) y Chalk et al. (2002) indica que en este contexto muchos países del mundo sobre todo los que están en vías de desarrollo enfrentaran desafíos para lograr la seguridad alimentaria de una manera sostenible, en razón a los escasos de tierras, agua, las condiciones socioeconómicas particulares del sector agrícola, sus estructuras internas, etc. Aumentar la producción alimenticia de una manera sostenible requerirá del uso adecuado de los recursos agua, suelo, deberán ser usadas nuevas tecnologías de manejo del suelo tales como uso eficiente de los nutrientes, entre otros.

El desarrollo y la aplicación de un enfoque integrado para el manejo de los nutrientes en la agricultura de los países en vías de desarrollo implicara el empleo de fertilizantes químicos y las fuentes naturales de los nutrientes, tales como las rocas fosfóricas, la fijación biológica del nitrógeno, los estiércoles animales y los abonos verdes en combinación con los residuos de cosechas. La utilización de estas tecnologías demanda la evaluación del suministro de los elementos nutritivos por los materiales localmente disponibles aplicados como fuentes de nutrientes, su adaptación en función de los sistemas de cultivos específicos y la provisión de recomendaciones para su aplicación. Este es el caso de los recursos locales de las rocas fosfatadas en las zonas altas andinas y zonas tropicales.

1.4. Rocas fosfóricas de aplicación directa en agricultura

Las rocas fosfóricas de origen sedimentario son aptas para ser empleadas directamente porque consisten en micro cristales ampliamente abiertas y débilmente consolidadas, con un área específica relativamente grande, sin embargo, algunos autores (Rajan et al., 1996 y Zapata, 2003) consideran que para su empleo se necesitan ciertas condiciones.

La práctica de la aplicación directa de diversas rocas fosfóricas como fertilizantes presenta muchas ventajas:

1. Al ser productos naturales pueden ser empleados en la agricultura biológica.
2. Bajo ciertas condiciones las rocas fosfóricas pueden ser más eficientes que los fertilizantes solubles en agua, en base a la recuperación de fósforo por las plantas.
3. En base al costo por unidad de fósforo normalmente suelen ser de menor costo.
4. Posee otros efectos colaterales, tales como la incorporación de otros nutrientes como el calcio.

1.4.1. Factores que afectan la eficiencia agronómica de las rocas fosfóricas

Chien et al. (2009) menciona que la mayoría de las rocas fosfóricas de origen ígneo tienen un alto contenido de P_2O_5 (> 34%), pero la baja reactividad debido a la poca sustitución de CO_3 por PO_4 en la estructura de la apatita y, por esta razón, no son recomendadas para aplicación directa en la agricultura orgánica.

a) La reactividad de las rocas fosfóricas

Rajan et al. (1996) señala que el mejor desempeño agronómico de la roca fosfórica es la solubilidad. La reactividad de las rocas fosfóricas es una medida de la tasa de disolución de esas rocas bajo condiciones estándar de laboratorio o en un suelo dado y bajo ciertas condiciones de campo. Chien y Friese (1992) indica que esto excluye los cambios en la tasa de disolución

causados por las variaciones en las propiedades del suelo y por los efectos de las plantas. La composición química y el tamaño de las partículas determinan la reactividad de las rocas fosfóricas. La solubilidad de la roca fosfórica incrementa a medida que se reduce el tamaño de las partículas. Sin embargo, la efectividad agronómica de las rocas fosfóricas altamente reactivas molidas y sin moler no sigue estrictamente este patrón de comportamiento. Por ejemplo, la solubilidad de una roca fosfórica reactiva sin moler (-37 mesh; 0.15 mm) es menor que la misma roca fosfórica molida (-100 mesh; 0.15 mm), pero su efectividad agronómica es similar en condiciones de campo e invernadero.

b) Propiedades del suelo

Para que una roca fosfórica sea agronómicamente eficiente no solamente debe disolverse, sino que también la roca fosfórica disuelta debe ser disponible para las plantas. Entre las propiedades del suelo que favorecen su disolución, tenemos los siguientes:

i. El pH:

Chien (2003) menciona que, entre las propiedades, el pH es el que tiene la mayor influencia en la efectividad agronómica de la roca fosfórica. La tasa de disolución de la roca fosfórica en el suelo depende de la concentración de protones (H^+) alrededor de los gránulos de la roca. Es decir, que la disolución puede ser favorecida cuando el pH del suelo, el calcio

intercambiable y la concentración del fósforo son bajos. Por lo que, los suelos ácidos presentan condiciones favorables para la aplicación de roca fosfórica. Hammond et al. (1986) y Robinson et al. (1992) indica que un pH ácido ($\text{pH} < 5.5$) favorece la dilución de la roca fosfórica. Allen et al. (1995) señala que la alta concentración de iones de hidrogeno de los suelos ácidos permiten la reacción entre estos iones y la roca fosfórica, liberándose el fósforo y haciéndolos más disponibles para las plantas. Pérez y Smyth (2005) indica que el aumento del pH disminuye la Eficiencia Agronómica Relativa y la solubilidad de la roca fosfórica de acuerdo a Chien et al. (1995).

ii. Capacidad de fijación del fósforo en el suelo:

Chien (2003) menciona que la liberación del fósforo de la roca fosfórica se incrementa con un mayor poder de fijación del fósforo por el suelo. La absorción y la precipitación del fósforo soluble crean un sumidero que reduce la concentración de fósforo en la solución del suelo y favorece la disolución de la roca fosfórica (RF). Sin embargo, a medida que se incrementa la capacidad de fijación, la concentración del fósforo que se libera al inicio del proceso de solubilización de la roca, puede reducirse más rápidamente que en fuentes de fósforo soluble. Por tanto, el efecto negativo de la capacidad de fijación en la eficiencia agronómica relativa (EAR) de la RF puede ser más significativo en los cultivos de corto plazo como las hortalizas. Para cultivos de largo plazo o cultivos a corto plazo, usando fósforo residual, la EAR de la RF tiende a incrementar, en comparación con las fuentes solubles, con el incremento de la capacidad de fijación de

fósforo. Una baja concentración de iones calcio en solución, bajo nivel de fertilidad del fósforo y un alto contenido en materia orgánica y la capacidad de retención del fósforo en arcillas, fundamentalmente en aquellas como la alófana, influyen significativamente en la disponibilidad y fijación del fósforo.

iii. Presencia de materia orgánica:

Buckman y Brady (1993) mencionan que la materia orgánica y los microorganismos afectan grandemente a la utilización de fósforo inorgánico. La rápida descomposición de la materia orgánica y en consecuencia, la alta población de microbios, conduce a una retención temporal del fósforo inorgánico sobre todo el tejido microbiano. Algunos productos de descomposición orgánica tales como ácidos orgánicos y humus, se supone que toman parte activa en la formación de complejos con los compuestos de Fe y Al. Esta unión reduce notablemente la fijación del fósforo inorgánico. De lo que se deduce que los productos de descomposición de la materia orgánica, juegan un papel en el aprovechamiento del fósforo inorgánico. Chien (2003) señala que debido a que la disolución de la roca fosfórica, también libera calcio (Ca), en los suelos que inicialmente tienen un contenido alto de calcio la disolución de la roca fosfórica es normalmente más lenta, como consecuencia de la ley de acción de masas. Por otro lado, se ha reportado el efecto positivo de la materia orgánica en el incremento de la efectividad de la roca fosfórica. Chien et al. (2009) considera que el mecanismo para que la roca fosfórica se disuelva mejor, es la formación de complejos químicos entre la materia orgánica y el calcio. Cuando se añade

roca fosfórica en proceso de compostaje de la materia orgánica, donde se presentan condiciones alcalinas antes que condiciones ácidas, el efecto de quelatación del calcio derivado de la apatita por la materia orgánica de acuerdo a Aguirre (1967), Mishra y Tauro (1983), ayuda a disolver la roca fosfórica. Los ácidos orgánicos (Contribuyen a la disminución del pH) y quelatos producidos durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, ayudan a la liberación de fósforo de la estructura de la apatita de la fosforita. Así mismo los microorganismos, como las sustancias húmicas son las responsables de la disolución del fósforo de la roca fosfórica. Los primeros, al producir ácidos orgánicos y quelatos durante la descomposición, que ayudan a la liberación del fósforo provenientes de la estructura de la apatita de la roca fosfórica y los ácidos húmicos al acomplejar el calcio del polifosfato; ayudando a la liberación del fosfato en forma soluble, menciona Mishra y Tauro (1983); Subehia y Minhas (1993); Reyes y Gamboa (1991).

a) Las condiciones climáticas

Weil et al. (1994) menciona que la precipitación pluvial, es el factor de mayor importancia que influye en la disolución de la roca fosfórica y su eficiencia agronómica. El aumento del agua en el suelo resultante de la lluvia o del riego incrementa la disolución de la roca fosfórica.

b) Las especies cultivadas

Baligar (2001) menciona que las especies difieren en la demanda y forma de absorción del fósforo, así como en su capacidad para absorber el fósforo de la solución del suelo. Además, las especies muestran diferencias en su capacidad para adquirir formas de fósforo de baja solubilidad que no están disponibles para otras plantas. Entre estas, algunas pueden disolver y absorber los productos de la disolución de la roca fosfórica, por ejemplo, las pasturas permanentes, los árboles cultivados y los cultivos perennes de plantaciones, requieren de un aporte constante de fósforo durante un periodo prolongado. La alta densidad de raíces facilita la exploración intensiva del fósforo en mayor volumen.

Kamh et al. (2000) menciona que las leguminosas son particularmente adecuadas para la utilización de las rocas fosfóricas. Son efectivos en la disolución de las rocas fosfóricas y en la absorción los productos de disolución, debido a su demanda de calcio y al efecto acidificante de la fijación del N en el suelo, cerca del sistema radicular. Así también Montenegro y Zapata (2002) menciona que algunas especies como colza, lupinus y el guandul (*Cajannus cajan*) segregan ácidos orgánicos contribuyendo a la mayor solubilización de la roca fosfóricas.

Chien (2003) menciona que estudios recientes indican que las rocas fosfóricas reactivas inclusive pueden tener aplicaciones potenciales aún en los suelos alcalinos con los cultivos que secretan ácidos orgánicos tal como

la colza. Los cultivos que poseen una alta capacidad de absorción de Ca son más indicados para la utilización de las rocas fosfóricas, tales como el maíz y mijo.

c) Prácticas de manejo

Las cuatro prácticas importantes de manejo que pueden influenciar la eficiencia agronómica de las rocas fosfóricas son: la localización de la roca fosfórica con relación a la planta, la dosis de aplicación, la época de aplicación y la aplicación de cal (encalado).

i. Respiración anaeróbica

Carrillo (2003) menciona que la respiración anaeróbica es una variación en la respiración en la que los aceptores de electrones utilizados son diferentes al oxígeno, e incluyen al nitrato, sulfato, carbonatos y ciertos compuestos orgánicos. Los productos de la respiración anaeróbica son fácilmente detectados: las burbujas de N_2 , NO_2 , CH_4 (inflamable); el olor de H_2S ; la formación de óxido de hierro diamagnético.

ii. Sulfatorreducción

Stevenson (1986) señala que la sulfatorreducción es la transferencia de hidrógeno al sulfato aceptor terminal de electrones en la respiración anaeróbica, reduciéndolo a H_2S . Este proceso, llamado también reducción desasimilatoria de sulfatos, es cumplido por bacterias anaeróbicas obligadas

tales como *Desulfovibrio*, *Desulfatomaculum*. Los donantes de hidrógeno son lactato, acetato y otros ácidos grasos, metanol, etanol y compuestos aromáticos. Los microorganismos reductores de sulfato son responsables de la precipitación de Fe^{++} y otros cationes metálicos en aguas polutas, y la corrosión de metales enterrados. *Desulfuromonas* y algunas arqueobacterias termofílicas pueden reducir el azufre elemental a H_2S . Por otra parte, casi todas las bacterias, así como los hongos pueden reducir sulfatos para sintetizar aminoácidos azufrados por la vía de la reducción asimilatoria de sulfatos.

a) Sulfooxidación

Dommengues y Mangelot (1970) menciona que los *Thiobacillus* son unas bacterias capaces de obtener energía por la oxidación de compuestos de azufre (sulfuro, azufre, tiosulfato) hasta sulfatos. La mayoría son autótrofos y dependen de la fijación de CO_2 como *T. thiooxidans*, *T. denitrificans*. Entre los heterótrofos se encuentran por ejemplo *T. novellus* y *Sulfolobus acidocaldarius*. Éste último es una arqueobacteria termofílica de las aguas termales azufradas. *T. thiooxidans* es un organismo aerobio que produce ácido sulfúrico y tolera una solución 1N del mismo.

Alexander (1980) señala que el agregado de azufre permite neutralizar suelos calizos y reducir la incidencia de algunos patógenos vegetales debido a la acidificación provocada por los sulfooxidantes del suelo. *T. denitrificans*

puede reducir nitratos anaeróbicamente pero no lleva a cabo una reducción asimilatoria y necesita la presencia de sales de amonio en el medio.

Dommengues y Mangelot (1986) indica que las bacterias filamentosas *Beggiatoa* y otras pueden oxidar sulfuros a azufre elemental que se acumula en la célula. Algunas especies de *Beggiatoa* son organismos heterotróficos.

Bhatti y Yawar (2010) señala que al inocular roca fosfatada con bacterias acidófilas de hierro y azufre-oxidantes; encontraron que la tasa máxima de fósforo solubilizado de la roca (564.8 mg P_2O_5 L⁻¹ d⁻¹), se ha logrado en la solución lixiviada inoculada con cultivo mixto (*Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Acidithiobacillus thiooxidans*). Se encontró además que la disolución de fósforo era fenómeno dependiente del pH.

FAO (2007) indica que el principio básico del uso de las mezclas de roca fosfórica y del azufre elemental es que la población nativa o inoculada de las bacterias del suelo oxide el azufre a H_2SO_4 cuando el producto es aplicado al suelo. Este ácido reacciona a su vez con las partículas de la roca fosfórica, las que se hallan cercanas al azufre y se forman fosfatos monocálcicos y dicálcicos. La disolución de rocas fosfóricas es ayudada por la acidulación localizada, además de aquellas causadas por la acidez ambiental del suelo. Las más importantes especies de bacterias oxidantes del azufre son *Thiobacillus thiooxidans* y *T. thioautotrophicus*.

1.5. Mecanismos de movilización del fósforo insoluble

a) Mecanismos microbiológicos

Alexander (1980) y London (1975) citado por Gil (1994) indican como el mecanismo principal, por el cual los componentes fosforados insolubles son movilizados a través de la producción de ácido orgánicos (láctico, succénico, glicolínico, oxálico, cítrico y ácidos inorgánicos). El caso especial de los quimioautótrofos oxidante de amonio y azufre, son producidos en ácido nítrico, por la nitrificación de las sales de amonio originando una liberación leve, pero significativa de fósforo soluble y los ácidos sulfúricos, productos de la oxidación de los compuestos inorgánicos de azufre, por *Thiobacillus*, incrementa la acidez y en presencia de fosfato mineral reacciona efectuando el aumento de fósforo soluble, a partir de la roca fosfórica y/o compuesto de fosfato mineral.

Davelous (1992, citado por Gil, 1994) señala que la presencia de CO₂ como producto de la actividad microbiana y la respiración de las plantas, reaccionan con el suelo, produciendo ácido carbónico, H₂CO₃, carbonatos y bicarbonatos de Ca, K y Mg fácilmente solubles, London (1975, citado por Gil, 1994), indica que este ácido reduce el pH, en consecuencia, tiende a disolver el fósforo. También London (1975), menciona que el fósforo puede estar más disponible por acción de ciertas bacterias que liberan el sulfuro de hidrogeno, producto que reacciona con el fosfato férrico, para producir sulfuro ferroso, liberando el fósforo en ión ortofosfato soluble.

London (1975) y Davelous (1992) indican que, los ácidos húmicos, cuando el humus está saturado con iones de H^+ aumenta la disponibilidad de ciertas bases nutritivas, actuando como un ácido ordinario, que puede reaccionar con los minerales del suelo, extrayendo sus bases.

b) Mecanismo del factor planta

Lauman (1977, citado por Gil, 1994) indica que la planta puede afectar el estado del fósforo presente en el suelo, alrededor del sistema radicular, al bajar el pH, por excreción de CO_2 , ácidos orgánicos, por ello se incrementa la solubilidad de los fosfatos de calcio por absorción de Ca_2^{++} en unión de fosfato, al aumentar la solubilidad de Fe y Al, por excreción directa de agentes quelatantes orgánicos. La planta con sistema radicular extensa, tiene mayor contacto con el volumen del suelo y por lo tanto tiene mayor superficie de absorción.

c) Mecanismo de transformación de otros elementos

Alexander (1980, citado por Gil, 1994) señala que en el suelo, los microorganismos metabolizan los elementos de numerosas maneras. Los principios podrían extenderse a la transformación de varios elementos y la consideración de las diferentes etapas del ciclo, permiten cierto entendimiento de los cambios de otros elementos, inducidos microbiológicamente.

Estos compuestos o iones de los diferentes elementos, pueden sufrir uno o más de las siguientes reacciones. Liberación de iones inorgánicos, remoción de iones inorgánicos de la solución, oxidación de iones y compuestos inorgánicos, transformación indirecta, modificando el estado de oxidación de varios elementos.

La microflora es activa en la interconversión de los diferentes estados de oxidación de elementos que existe en el suelo en más de un estado de valencia. Más aún. Algunas de las transformaciones pueden dar origen a productos más o menos móviles que sus precursores, de manera que puede aumentar o disminuirse el movimiento de elementos a través del suelo.

Existen pruebas de transformaciones biológicas directa en la disponibilidad, solubilidad o estado de oxidación del: K, Mg, Zn, Cu, Mn, Al, Mo, Si, Hg, Ni, Pb, Fe, Co y varios halógenos.

1.6. Factores que influyen en el proceso de incubación de las rocas fosfóricas

a) Incubación

Rajan (1987, citado por Cárdenas, 2015) menciona que, al incubar los suelos tratados con las rocas fosfóricas, ofrece la posibilidad de medir la disolución de las rocas fosfóricas en suelos seleccionados con propiedades diferentes, además de que ciertas rocas pueden tener cantidades importantes de carbonatos libres y otros minerales que pueden modificar las

características de los suelos, cuando estas se disuelven. Los estudios de incubación cerrada para determinar las tasas de dilución de las rocas fosfóricas, presentan limitaciones debido a que los productos de la reacción no son eliminados y, por lo tanto, los resultados podrían tener alteraciones experimentales. Se prefiere por ello, incubaciones abiertas donde el suelo tratado con roca fosfórica es colocado en un depósito abierto y se adiciona una cantidad de agua simulando las condiciones locales de lluvia, se colecta luego la solución filtrada y se analizan el fósforo, calcio y otros elementos. Según intervalos seleccionados, las muestras de suelo también analizadas para medir la roca fosfórica disuelta.

b) Efecto del Tiempo

De acuerdo a Rajan (1987, citado por Cárdenas, 2015), las rocas fosfóricas son fertilizantes de solubilización lenta, por lo que necesitan tiempo y agua alrededor de las partículas para permitir que los productos de la disolución se muevan por difusión lejos de las partículas de la roca fosfórica en el volumen del suelo.

La evaluación de las rocas fosfóricas africanas en el invernadero fue realizada para observar los cambios que ocurrían con el transcurso del tiempo. Los coeficientes de eficiencia agronómica relativa, basada en los valores 1 y la absorción del fósforo cambiaron considerablemente entre uno y cuatro meses, para la mayoría de las rocas fosfóricas en el andisol. Las rocas fosfóricas más reactivas de Gafsa y Tilemsi, se solubilizaron

rápidamente y su eficiencia cambió o aumentó ligeramente después de cuatro meses, mientras las rocas fosfóricas menos reactivas, necesitaron mayor tiempo para expresar su potencial. El mejoramiento de la eficiencia agronómica relativa de las rocas fosfóricas, con el tiempo se atribuye a la continuación de la solubilización de ésta, mientras se mantenga una baja concentración de fósforo en la solución del suelo.

Gálvez (2009) señala que al incubar la roca fosfórica en una solución de microorganismos eficientes naturales, posee mayor cantidad de P_2O_5 disponible, a medida que aumentan los días de incubación, desde 0.119655 a los 5 días, hasta 2.14115% a los 20 días de incubación. El cual se puede apreciar en los análisis que realizó a la roca fosfórica tratada durante los distintos períodos de incubación; donde pudo encontrar también que la roca fosfórica incubada durante 20 días, posee 2.14% de P_2O_5 disponible para la planta, en comparación con 0.001145% de P_2O_5 existente en la roca fosfórica sin tratar, cuadro 1.1:

Cuadro 1.1. Fósforo disponible (expresado como P_2O_5) liberado a partir de la roca fosfórica por acción de los Microorganismos Efectivos Naturales

Roca fosfórica tratada					
Solubilidad del fósforo en el agua					
Días de tratamiento	D.O (1)	D.O (2)	Lr.	P (ppm)	% P_2O_5
0 días(roca fosfórica, sin incubar)	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	1.501	0.081	0.187	9350	2.14115

Cuadro 1.2. Roca fosfórica sin tratar (solubilidad del fósforo en ácido cítrico)

Días de tratamiento	D.O (1)	D.O (2)	Lr.	P (ppm)	% P ₂ O ₅
Total de fósforo en la roca fosfórica	-	0.7	1.57	125600	28.76

1.7. Flor de azufre

Fassbender y Bornemisza (1987, citado por Cárdenas, 2015) menciona que el azufre elemental o flor de azufre, se utiliza para disminuir el pH de los suelos alcalinos, ya que al oxidarse y reaccionar con el agua, forman ácido sulfúrico. El efecto acidificante de la oxidación del azufre baja el pH del suelo. En suelo alcalinos esta reacción es conveniente, pero en suelos neutros o ácidos es necesario compensar este efecto acidifica con la aplicación apropiada de cal. Mientras Villagarcía (1999, citado por Cárdenas, 2015), refiere que se hace uso del azufre como enmienda para suelos alcalinos y salinos e indica que el aporte de 2 – 3 tn.ha⁻¹ permite su oxidación completa en 15 días. Además, refiere que en condiciones favorables para el crecimiento de las plantas, la velocidad de oxidación depende principalmente del grado de contacto entre el azufre y el suelo, cuando el azufre esta finamente dividida y bien mezclada con el suelo, la reacción es bastante rápida.

La revista Agricultura de los Andes (1998, citado por Cárdenas, 2015), refiere que cuando se aplica azufre elemental a suelos con aireación y humedad, es atacada por los microorganismos del suelo, que las

transforman en ácido sulfúrico, ésta a su vez supe al ión sulfato que absorbe las plantas. Sin embargo, con los beneficios que implica su uso, ésta fuente se utiliza poco como abono.

Tenorio (1977) y Laura (1990) citados por Gil (1994) mencionan que al experimentar en suelos alcalinos los diferentes niveles de roca fosfórica y flor de azufre, se encontró que este elemento, aumenta significativamente la eficiencia de roca fosfórica, utilizando un promedio de 800 ppm de roca fosfórica más 100 ppm S. En el abonamiento de pastos asociados (trébol y dactilis) en suelos de la Puna, en al cual detectó un fuerte crecimiento, incremento de materia seca, proteínas azufre en el forraje y aprovechamiento de P-Ca; llegando a demostrar que el azufre es el elemento más limitante después del fósforo, calcio y microelementos; aún más para leguminosas que permiten la mayor fijación de nitrógeno y nodulación.

Bornemiza (1999, citado por Cárdenas, 2015) señala que la aplicación del azufre es en polvo fino, para poder acelerar la oxidación, que lo deja disponible para la planta. Este producto si bien es cierto que brinda buenos beneficios para la agricultura, pero presenta ciertas dificultades para ser manejada e incluso tiene riesgo de fuego y hasta explosiones.

1.8. El humus

Buckman y Brady (1993) mencionan que el humus es una mezcla de complejos y no un material único. Estos compuestos son: o bien materiales resistentes que han sido modificadas a partir de tejidos vegetales originarios, o bien compuestos sintetizados con tejido microbiano con restos de organismos muertos, por lo tanto, el humus es un complejo, y mejor, una mezcla resistente de sustancias oscuras o negruzcas amorfas y coloidales que se han modificado a partir de tejidos originarios o han sido sintetizados por los varios organismos del suelo.

1.8.1. Humus de lombriz:

Vega (2000) menciona que el humus de lombriz es producto de la crianza de lombrices, quienes aprovechan convenientemente los recursos (rastros, estiércol, etc.), que luego de un proceso digestivo son expulsada en la excreta de la lombriz (Estiércol de lombriz); produciendo un fertilizante ecológico. El humus de lombriz es de color negruzco, granulado y homogéneo y con un olor agradable a mantillo de bosque (www.agromeat.com, 26/02/11).

Piñuela (1987) señala que la deyección de las lombrices, mejora los suelos y es uno de los fertilizantes más completos; porque aporta todos los nutrientes para la dieta de la planta, de los cuales carecen muy frecuentemente los fertilizantes químicos.

Compagnoni (1983) indica que estos nutrientes son: N, P, K, Ca, Mg y oligoelementos, tales como Fe, Cu, Zn, Ba, etc.; así también mejora la capacidad retentiva de humedad. Es un fertilizante natural de alta carga de microorganismos (20 millones/gramo seco), los cuales le confiere las características de fertilizante biológico. Es un producto vivo a determinada humedad, que continua en la tierra, gracias a la acción de las bacterias descomponiendo los diferentes productos.

El humus se obtiene luego de un proceso, cercano a un año, en el que la lombriz recicla a través de su tracto intestinal la materia orgánica, comida y defecada, por otras lombrices. Hay que resaltar que un alto porcentaje de los componentes químicos del humus son proporcionados, no por el proceso digestivo de las lombrices, sino por la actividad microbiana que se lleva a cabo durante el periodo de reposo que éste tiene dentro del lecho. Por ejemplo, el 50% del total de los ácidos húmicos que contiene el humus, son proporcionados durante el proceso digestivo y el 50% restante durante el período de reposo o maduración, (www.monografias.com/trabajos12/mncuarto/mncuarto.shtml, 01/02/12).

Quispe (2007) menciona que la calidad del humus de lombriz dependerá de la calidad del alimento que otorgado a las lombrices. El humus contiene una carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser asimilado inmediatamente por las raíces de las

plantas. Por otra parte, impiden que estos sean lavados por el agua de riego manteniéndolas, más tiempo en el suelo, incrementándose de esta manera los rendimientos de los cultivos. El humus de lombriz se produce a través de la digestión de diferentes residuales orgánicos, por la lombriz de tierra, por lo tanto; a diferente tipo de alimento, diferente calidad de humus (www.agromeat.com, 26/02/11).

Novax (1990, citado por Gil, 1994) señala que los principales componentes del humus de lombriz es la materia organica y desde el punto de vista químico, es muy complejo, puesto que la constituyen principalmente, ácidos húmicos, fúlvicos, hematomelámina, huminas, además de contener CHON y menor proporción de elementos minerales, siendo dependiente de las características químicas de los sustratos que le dieron origen.

TCCS (1990, citado por Gil, 1994) indica que en el humus hay miles de formas de macromoléculas diferentes como: lignina, derivados de los compuestos fenólicos, quinonas, proteínas, quininas, ácidos poliurónicos, mucopolisacáridos. Algunos de ellos se detallan a continuación:

Cuadro 1.3. Composición química del humus

Elemento	%Ácido húmico	%ácido Fúlvico	% Huminas
C	55.4	50.4	55.4
H	5.5	3.3	5.5
N	4.1	0.7	4.6
S	1.1	0.3	30.7
O	32.9	4.8	33.8

Cuadro 1.4. Análisis químico del humus de lombriz

Características	Resultados
pH	6.2
N total	1.2
P-disponible	0.7
K-disponible	1.3
Humedad	45

Fuente: Víctor Juan Gil Pérez, 1994

1.9. Humus líquido

El humus líquido es un fertilizante orgánico, bio-regulador del suelo; cuyas características fundamentales es la bio-estabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción, su elevada solubilidad debido a las descomposición enzimática y bacteriana, proporciona una rápida asimilación por las raíces de las plantas, podemos decir aumenta un aporte para las plantas, árboles y arbustos; también protege de enfermedades bruscas a las mismas; además este humus contiene un elevado porcentaje de ácido húmico y fúlvico. Es un fertilizante de primer orden que protege al suelo de la erosión, siendo mejorable las características físico químicas del suelo y su estructura, aumentando la retención hídrica, regulando las actividades de los nutrientes del suelo y la capacidad de almacenarlo (www.monografias.com/trabajos71/humusliquidolombrizrojaCaliforniala/humusliquido-lombriz-roja-californiana.shtml, 26/02/11). Además, es un bioestimulante-fertilizante ecológico; abono muy eficaz proveniente de la digestión de la lombriz. Posee los elementos nutritivos esenciales, además de contener una

flora bacteriana de una gran riqueza que permite la recuperación de sustancias nutritivas retenidas en el suelo. Es un producto neutro, con los que crea un medio desfavorable para la proliferación de ciertos parásitos, sus efectos son:

1. Favorece el incremento de actividades de microorganismos del suelo.
2. Mayor estimulación de las raíces.
3. Alta resistencia al estrés por exceso de agua.
4. Incrementa la producción de clorofila.
5. Neutraliza altos niveles de salinidad en el suelo.
6. Nivelan el pH.
7. Reduce el desarrollo de hongos en el suelo

(www.plantaverde.com, 26/02/11).

Las propiedades del humus líquido son parecidas al humus de lombriz; pero es líquido y eso te da muchas posibilidades de aplicación. Este humus está concentrado, así que es fácil de guardar y es totalmente líquido (sin material flotando) por lo que pasa por aspersores; mangueras o cualquier otro equipo de fertilización por riego. También se puede aplicar de manera foliar, así que puede aplicarse a cultivos ya establecidos sin problemas (www.monografias.com/trabajos12/mncuarto/mncuarto.shtml, 26/02/11).

Este abono ecológico, se aplica al suelo como fertilizante orgánico en todo tipo de cultivos para la recuperación de suelos, germinación de semillas y

desarrollo de plantas. Como re-estructurador de suelos (propiedades físicas) y regenerador (propiedades biológicas) de suelos. La cantidad que se necesita para abonar los cultivos varían de acuerdo al tipo de planta y al tipo de suelo con el que se cuenta (www.agroforestalsanremo.com/humus_liq.php, 26/02/11).

1.9.1. Los microorganismos y su acción solubilizante

Alexander (1981) 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 la planta.

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

FAO (2007) indica que las bacterias, hongos y actinomicetos, pueden solubilizar formas insolubles de fósforo. Las bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP) incluyen *Bacillus megatherium* var. *phosfaticum*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas striata*, *Agrobacterium* sp; *Acetobacter diazotrophicus*, *Penicillium digitatum*, *Penicillium belaji*, levadura

(*saccharomyces sp.*), etc. Los actinomicetos solubilizadores de fósforo (ASP) incluye a *Streptomyces sp*, *nocardi sp*.

Generalmente los Microorganismos solubilizantes del fósforo secretan ácido orgánico que disuelven el fosfato insoluble. Estos microbios ayudan en la solubilización del fósforo de la roca fosfórica y otras formas escasamente solubles del fósforo del suelo, mediante la disminución del tamaño de sus partículas, reduciéndolas a formas casi amorfas.

Alexander (1981) menciona que la degradación no es inhibida por el fósforo inorgánico, porque la mineralización se lleva a cabo rápidamente aun en sitios con suficiente fósforo, siendo las enzimas encontradas con más frecuencia las llamadas fosfatasas. El proceso predominante de mineralización e inmovilización está determinado por el porcentaje de fósforo y su relación C:P en los residuos vegetales en descomposición y los requerimientos nutricionales de la población de microorganismos. La relación de C:P que produce la inmovilización es de 300:1 y se producirá una mineralización neta cuando la relación C:P sea de 200:1 Si su concentración excede al requerimiento de los microorganismos, el exceso aparece como fosfato inorgánico, si es inadecuado, el efecto neto será la inmovilización.

1.10. Estiércol de ovino

Las deyecciones líquidas y sólidas del ganado han sido utilizadas como abono desde inicios de la agricultura prácticamente. El estiércol de ovino es

equilibrado y rico en minerales, con un pH casi neutro, ideal para abonado de fondo después de ser compostado y en estado fresco (www.cannabiscave.net/foros/showthread.php/194858-Estiercoles-ysus-propiedades-%28tabla-de-riquezas%29, 21-07-2012).

Tortosa (2013) señala que el estiércol de ovino es uno de los mejores residuos agrícolas ricos en nitrógeno (sobre todo inorgánico) y sirven como inoculantes microbianos. Además, estiércol de los más ricos y equilibrados, ya que las ovejas comen una amplia variedad de plantas silvestres. Sin embargo, se trata de un estiércol fuerte que es necesario fermentar en montón antes de incorporarlo al jardín. También es bueno para añadirlo al montón de compost o para preparar fertilizante de estiércol líquido (www.jardinerosenaccion.es/estiercol.php, 06/09/16). Según Eneek (2013), comparado con el resto de los estiércoles, contiene mayor cantidad de fósforo y potasio.

1.10.1. Características del estiércol de ovino.

Eneek (2013) considera que el estiércol de cada animal tiene características diferenciadas, he aquí las descripciones de la composición del estiércol de ovino en comparación con estiércoles de algunos animales:

a) Características químicas:

La composición química de los diferentes estiércoles varía de acuerdo a la especie y al tipo de alimentación que estos tengan, a continuación, mostramos la composición química de algunos estiércoles:

Cuadro 1.5. Composición promedio de nutrientes de diferentes tipos de estiércol, al estado fresco.

Constituyente	Bovino	Equino	Ovino	Porcino	Pollo
N	0.53	0.55	0.89	0.63	0.89
P ₂ O ₅	0.29	0.27	0.48	0.46	0.48
K ₂ O	0.48	0.57	0.83	0.41	0.83
Ca	0.29	0.27	0.21	0.9	0.38
Mg	0.11	0.11	0.13	0.03	0.13
Cu	0.00079	0.00079	0.00079	0.00016	0.0006
Mn	0.003	0.003	0.003	0.0008	0.003
Zn	0.0016	0.002	0.002	0.0006	0.0021
Cl	0.03	0.08	0.08	0.03	0.08
S	0.036	0.036	0.06	0.03	0.06
B	0.016	0.016	0.016	0.0005	0.016
Materia orgánica	16.74	27.06	30.7	15.5	30.7
Humedad	81.33	68.85	64.82	77.56	64.80
Ceniza	2.06	6.70	4.72	6.02	4.72

Fuente: Farm Chemichals Handbook, 1991. Editor: Charlotte Sine (Sierra y Rojas, 2016)

Cuadro 1.6. Características químicas del estiércol de ovino.

Especie animal	Materia Seca (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Ca O (%)	Mg O (%)	SO ₄ (%)
Vacunos(f)	6	0.29	0.17	0.10	0.35	0.13	0.04
Vacunos(s)	16	0.58	0.01	0.49	0.01	0.04	0.13
Ovejas (f)	13	0.55	0.01	0.15	0.46	0.15	0.16
Ovejas (s)	35	1.95	0.31	1.26	1.16	0.34	0.34
Camélido (s)	37	3.6	1.12	1.20	s.i.	s.i.	s.i.
Cuyes (f)	14	0.6	0.03	0.18	0.55	0.18	0.10
Gallina (s)	47	6.11	5.21	3.20	s.i.	s.i.	s.i.

(f) Fresco, (s) seco, (s.i.) sin información
Fuente SEPAR, 2004. Boletín Estiércoles.

b) Parámetros biológicos:

Avilés (2010) menciona que la materia orgánica posee una óptima población de hongos (4 a 5 log UFC); bacterias (5 a 8 log UFC), actinomiceto (5 a 7 log UFC).

Cuadro 1.7. Comparación de medias unidades formador de colonias (log UFC).

Materiales	Actinomicetos	Bacterias	Hongos
	Medias (log UFC)	Medias (log UFC)	Medias (log UFC)
Estiércol de oveja	6.36	6.25	4.36
Humus de lombriz	5.70	6.33	3.56
Estiércol de vacuno	6.68	6.84	2.59
Gallinaza	5.90	7.33	0
Compost artesanal	7.08	7.65	4.76

*UFC: Unidad Formadora de colonias
Fuente: CERPOICA INCORDES (2005) (Avilés, 2010)

1.11. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Maroto (1990) menciona que la planta de tomate es de origen americano, cuya dispersión a lo largo del mundo, resulta verdaderamente curiosa y en cierta manera espectacular, en la historia de los cultivos de plantas.

El tomate pertenece a la familia de las solanáceas y necesita de climas templados para crecer sin problemas. El fruto es de color rojo cuando está maduro. Es una hortaliza de riquísimas propiedades culinaria y para la salud. Es rico en vitamina C y A. Investigadores recientes muestran su capacidad de prevención de enfermedades como el cáncer con sustancias casi exclusivas como el licopeno; en sus propiedades cabe destacar que es un excelente defensor de las paredes celulares de los tejidos y la piel, depurador de productos tóxicos (www.euroresidentes.com/Alimentos/tomate.htm, 26/02/11).

El porte de ésta hortaliza, puedes ser rastrero, arbustivo o erecto. Hay variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas). La absorción de nutrientes de la planta de tomate es muy baja en los primero días que dura unos 1.5 a 2 meses, hasta el cuajado del primer racimo, en el cual planta absorbe un 15% del total de los nutrientes. A partir de este momento y hasta el final del ciclo absorbe el restante 85%, el período que dura unos 3 a 3.5 meses (articulos.infojardin.com/huerto/Fichas/tomate-plagas.htm, 26/02/11).

1.11.1. Taxonomía

Reino	: Plantae.
División	: Magnoliophyta.
Clase	: Magnoliopsida.
Subclase	: Asteridae.
Orden	: Solanales.
Familia	: Solanaceae.
Género	: Solanum.
Especie	: <i>S. lycopersicum</i> .
Nombre binomial	: <i>Solanum lycopersicum</i>

1.11.2. Transplante

Messiaen (1979) indica que las plántulas de tomate cultivadas en buenas condiciones, son muy resistentes y pueden soportar al marchitamiento casi completo durante uno o dos días después de la plantación; por consiguiente, se transplantará las plántulas preferentemente en tortas de humus comprimido (su cultivo en macetas plásticas es la solución ideal).

López (1994) recomienda que 10 días antes del transplante, se debe provocar el endurecimiento de la planta. Esto se debe seguir cubriendo con polietileno para la protección de las lluvias o eliminar paulatinamente el sombreado y se disminuyen los riegos. Lo indicado auxilia a la obtención de plantas vigorosas y resistentes.

Un día antes del transplante se riega el semillero con el fin de ablandar el suelo y evitar daños a las plántulas en las raíces. Las plántulas se deben seleccionar y eliminar las débiles o las enfermas. El tiempo de transplante debe ser corto; en climas cálidos se efectuará en la tarde o en la noche, en clima templado, durante todo el día. Generalmente el transplante se realiza manualmente y las tareas por orden:

1. Riego previo al terreno o bien únicamente a las hileras.
2. Se ubican las plantas en el hoyo a una profundidad mayor que la del semillero. Se afirma la tierra para un mayor contacto con la raíz.
3. Se riega posteriormente planta por planta y se recomienda una constante observación.

1.11.3. Abonamiento

Maroto (1990) indica que como abonamiento de fondo de tipo medio se puede aconsejar, siempre en términos generales y por cada 10 m²: 30 kg de estiércol, 0.25 kg de sulfato amónico, 0.5 kg de superfosfato de cal y 0.5 kg de sulfato potásico.

1.11.4. Plagas y enfermedades

López (1994) menciona que las plagas que atacan a las plantas del tomate, son: Gusano de cuernos, gusano de alfiler, gusano minador, gusano cortador o de tierra, oruga de tomate (es la que puede mayor influencia

negativa sobre el cultivo), mosca blanca, araña roja, chinches, “pulgones”, grillos, áfidos y pulga negra.

Entre las enfermedades están: el tizón, tizón temprano, marchitez bacteriana, moho de la hoja, antracnosis y nudosidad de la raíz (nematodos).

1.12. Maíz (*Zea mays* sp.)

El maíz en el Perú tiene gran importancia desde la época de los incas, por ser un alimento energético y nutritivo, que no solo los alimentaba, sino que también les ayudaba a curar algunas enfermedades,teniéndolo como culto. En la actualidad en el Perú es su mayor parte está destinada a la alimentación animal, pero se ha encontrado una variedad para la alimentación humana, por su alto contenido de lisina y triptófano, que equivale al 90% del valor proteico de la leche. Su alta productividad y alto contenido de proteínas esenciales contribuirán a mejorar la calidad de alimentación del Perú (Es.wikipedia. org/wiki/Zea_mays, 01/02/12).

1.12.1. Taxonomía

Mostacero (1993, citado por Carbajal, 2004) clasifica de la siguiente manera:

Reino	: Plantae.
División	: Fanerogama
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Monocotiledonias
Orden	: Poales.
Familia	: Poaceae.
Tribu	: Maydeae
Género	: Zea.
Especie	: <i>Z. mays</i> .
Nombre binomial	: <i>Zea mays</i>

1.12.2. Origen y evolución

Manrique (1988, citado por Carbajal, 2004) manifiesta que cualquiera haya sido la forma silvestre del maíz es probable que se originó y sobreviviera como otros cereales, en una región con estaciones alternas húmedas y secas, como sugiere dos de sus características el maíz no tolera el sombreado, de manera que parece improbable que su evolución se hay producido en las zonas boscosas, pero tampoco se adapta a condiciones secas, por lo cual su período de crecimiento activo debe coincidir con la época de lluvia.

Poehlman (1983, citado por Carbajal, 2004) sostiene que el maíz es una de las plantas cultivadas más antiguas, ya no sobrevive en forma silvestre y sólo se produce bajo cultivo. Se ha mencionado dos lugares como posible origen del maíz, estos son:

1. Los valles Interandinos del Perú, Ecuador y Bolivia.
2. La Región del Sur de México y América Central.

1.12.3. Estado de desarrollo de la planta de maíz.

Robles (2009) menciona que las plantas de maíz tienen los siguientes estados de desarrollo:

a) Germinación y desarrollo vegetativo

La semilla, con la humedad del suelo, se hidrata, se activa su metabolismo y los cambios bioquímicos se inician. Resultado de ello, la radícula sale en tres o cuatro días, luego la plúmula y comienza la formación de hojas en el coleóptilo, cuyo contacto con la luz inicia el crecimiento de unas seis a siete hojas en 16 a 20 días. En esta etapa se debe inspeccionar el cultivo para detectar la presencia de insectos e iniciar su control.

1.12.4. Exigencias edafoclimáticas

El maíz presenta las siguientes exigencias edafoclimáticas:

a) Exigencia de clima

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Requiere bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C.

El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua.

b) Riegos

El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día. Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua, pero sí mantener una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración. Durante la fase de floración es el periodo más crítico porque de ella va a depender el cuajado y la cantidad de producción obtenida por lo que se aconsejan riegos que mantengan la humedad y permita una eficaz polinización y cuajado. Por último, para el engrosamiento y maduración de la mazorca se debe disminuir la cantidad de agua aplicada.

c) Exigencias en suelo

El maíz se adapta muy bien a todos tipos de suelo, pero suelos con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

1.12.5. Labores culturales

a) Siembra

Antes de efectuar la siembra se seleccionan aquellas semillas resistentes a enfermedades, virosis y plagas. Se efectúa la siembra cuando la temperatura del suelo alcance un valor de 12°C. Se siembra a una profundidad de 5 cm. La siembra se puede realizar a golpe, en llano o a surcos. La separación de las líneas de 0.8 a 1 m y la separación entre los golpes de 20 a 25 cm. La siembra se realiza por el mes de abril.

b) Fertilización

El maíz necesita para su desarrollo unas ciertas cantidades de elementos minerales. Las carencias en la planta se manifiestan cuando algún nutriente mineral está en defecto o exceso. Se recomienda un abonado de suelo rico en P y K. En cantidades de 0.3 kg de P en 100 kg de abonado. También un aporte de nitrógeno N en mayor cantidad sobre todo en época de crecimiento vegetativo. El abonado se efectúa normalmente según las características de la zona de plantación, por lo que no se sigue un abonado

riguroso en todas las zonas por igual. No obstante, se aplica un abonado muy flojo en la primera época de desarrollo de la planta hasta que la planta tenga un número de hojas de 6 a 8. A partir de esta cantidad de hojas se recomienda un abonado de:

1. N: 82% (abonado nitrogenado).
2. P_2O_5 : 70% (abonado fosforado).
3. K_2O : 92% (abonado en potasa)

Durante la formación del grano de la mazorca los abonados deben de ser mínimos. Se deben de realizar para el cultivo de maíz un abonado de fondo en cantidades de 825 kg.ha^{-1} durante las labores de cultivo. Los abonados de cobertera son aquellos que se realizan cuando aparecen las primeras hojas de la planta y los más utilizados son:

1. Nitrato amónico de calcio. $500 \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$
2. Urea. $295 \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$
3. Solución nitrogenada. $525 \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)}$

Es importante realizar un abonado ajustándose a las necesidades presentadas por la planta de una forma controlada e inteligente (Eiagro.galeon.com/aficiones1553013.html, 01/02/12).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

El trabajo se desarrolló en los ambientes del 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 2753 m.s.n.m. cuyas coordenadas son 13°09'19.03" Latitud Sur y 74°13'12.68" Longitud Oeste, en los meses de abril a setiembre.

2.2. Suelo empleado

El suelo utilizado se recolectó de la capa arable (profundidad de 10 - 20 cm), en los alrededores del invernadero del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería (Pampa del Arco). Se trata de un suelo de color claro, con vegetación natural compuesta por huarangos, molles, cabuyas, tunales, pastos naturales, entre otros.

Cuadro 2.1. Análisis químico de suelo de Pampa del Arco

Componentes	Valores	Interpretación
pH	8.12	Fuertemente Alcalino
M.O (%)	3.15	Muy Alto
Nitrógeno total (%)	0.12	Alto
P – disponible (ppm)	40.05	Muy Alto
K – disponible (ppm)	159	Alto
CO ₃ (%)	10.5	Altamente Calcáreo
Textura (%)	62.5-17.3-20.2	Franco Arenoso

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas, aguas y abonos "AGROLAB"

2.3. Macetas

Se empleó macetas de plástico de 4 kg de capacidad de base perforada, para favorecer el drenaje de agua. En el fondo de cada maceta se colocó una capa de grava para facilitar el drenaje; sobre ésta se depositó 3.5 kg de suelo con una humedad de 11.5% previamente tamizado y homogeneizada; dejándose un espacio de 2 cm entre la tierra y borde de la maceta.

2.4. Plantas indicadoras

Como planta indicadora, se empleó el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), variedad "Río grande" y el maíz (*Zea mays* sp).

2.5. Almacigado del tomate

Las semillas del tomate fueron almacigadas sobre un material compuesto por una mezcla de arena, suelo y materia orgánica, hasta obtener plántulas de aproximadamente 10 cm de altura.

2.6. Tratamientos

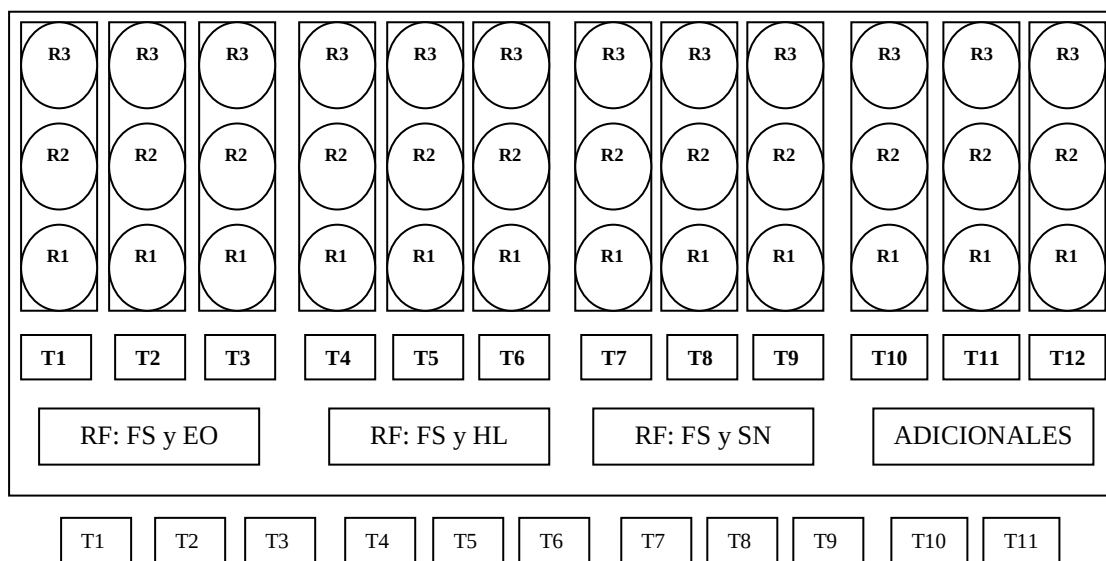
Se ha considerado un total de 12 tratamientos experimentales de las cuales 09 son producto de las proporciones de flor de azufre y roca fosfórica con 02 grupos de fuentes orgánicas (estiércol y humus líquido) y sin fuentes orgánicas. Además de 03 tratamientos adicionales, cuya descripción se encuentra en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Descripción de tratamientos empleados:

Tratamiento	Descripción
T1 (1RF:1FS-EO)	1 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre-Estiércol
T2 (3RF:1FS-EO)	3 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre-Estiércol
T3 (5RF:1FS-EO)	5 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre-Estiércol
T4 (1RF:1FS-1HL)	1 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre- Humus líquido
T5 (3RF:1FS-1HL)	3 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre- Humus líquido
T6 (5RF:1FS-1HL)	5 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre- Humus líquido
T7 (1RF:1FS)	1 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre -Sin fuentes orgánicas
T8 (3RF:1FS)	3 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre - Sin fuentes orgánicas
T9 (5RF:1FS)	5 Roca fosfórica: 1 Flor de azufre - Sin fuentes orgánicas
ADICIONALES	
T10 (5RF:1EO)	5 Roca fosfórica: Estiércol
T11 (5RF:1HL)	5 Roca fosfórica: Humus líquido
T12 (Testigo absoluto)	Ninguno

2.7. Distribución de tratamientos

Los tratamientos se dispusieron de la siguiente manera:



Dónde: RF : Roca fosfórica

FS : Flor de azufre

EO : Estiércol de ovino

HL: Humus líquido

SN: Sin materia orgánica

2.8. Instalación y conducción del experimento

2.8.1. Incubación de la roca fosfórica

La roca fosfórica (20% de P_2O_5) se incubó con la flor de azufre, estiércol de ovino y humus líquido; de acuerdo a los tratamientos, directamente en el suelo, durante el período de 01 mes. Para lo cual se utilizó 1.75 g RF/Maceta, 1.75 g FS/Maceta, 17.5 g EO/Maceta y se aplicó riegos continuos a cada uno de los tratamientos para mantener la humedad a capacidad de campo; en caso de humus líquido ésta se utilizó como material de riego.

2.8.2. Transplante de tomate (Primer cultivo indicador)

Una vez que las plántulas llegaron a formar las primeras hojas verdaderas; se procedió al transplante a las macetas; dejándose 06 plantas/maceta.

a) Abonamiento:

Se realizó abonamiento base, considerando los siguientes niveles de abonamiento, de 80-00-40 NPK (Nitrógeno, fósforo y potasio), empleando para ello Urea (0.304 g/maceta) y Cloruro de potasio (0.1167 g /maceta).

b) Riego:

El número de riegos fueron frecuentes, conforme crecían las plantas, tratando de mantener la humedad a Capacidad de Campo.

c) Control de plagas:

Durante el desarrollo de las plantas de tomate estas fueron afectadas por plagas, como la oruga de tomate, la mosca blanca y la cochinilla harinosa. La oruga del tomate fue controlada de manera manual, sin embargo, la mosca blanca y cochinilla harinosa fue con la aplicación del insecticida Sternín (600 SL).

Durante el desarrollo del maíz se tuvo ataques de los roedores, los que fueron controlados con veneno.

d) Cosecha:

La cosecha de las plantas de tomate se realizó luego de un período de crecimiento de 4 meses y 2 meses en las plantas de maíz, habiendo cortado a la altura del cuello de la planta. De igual forma se retiraron las raíces, en ambos cultivos.

e) Secado de plantas

Después de cosechada las plantas, se procedió a ponerlos en bolsas de papel debidamente etiquetadas; para luego ser secados en la estufa, hasta que tenga un peso constante.

2.8.3. Siembra de maíz (segundo cultivo indicador)

Las semillas de maíz fueron sembradas en las macetas en número de 09 semillas/maceta y se condujo durante 02 meses.

2.9. Parámetros de evaluación

2.9.1. Altura de planta:

Haciendo uso de la wincha graduada, se tomaron las alturas de las plantas, considerando las medidas, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de las hojas. Se procedió del mismo modo en ambos cultivos indicadores.

2.9.2. Rendimiento de materia seca (MS) de la parte aérea y radicular

En ambas plantas indicadoras (tomate y maíz), se evaluó el rendimiento de MS, tanto de la parte aérea como radicular; luego de un período de crecimiento de 4 meses en caso de las plantas de tomate y 2 meses en las plantas de maíz.

2.9.3. Fósforo disponible y pH del suelo

Luego de ambas cosechas, se tomaron muestras de suelo por tratamiento, para realizar el análisis de fósforo disponible y pH.

2.10. Diseño experimental y análisis estadístico.

Los 09 tratamientos de la combinación de proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) con o sin fuentes orgánicas además de tres adicionales se dispusieron en el Diseño Completamente Randomizado (DCR) con tres repeticiones haciendo un total de 36 unidades experimentales. Con los datos obtenidos se procedió a realizar el Análisis de varianza, pruebas de Tukey (0.05) y análisis de tendencias.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Primer cultivo (tomate)

a) De la longitud de tallo y raíz de la planta.

Cuadro 3.1. Análisis de variancia de longitud de tallo (cm) al aplicar proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	194.36	17.67	1.54
Roca : Azufre	2	38.74	19.37	1.69
Orgánico	2	40.74	20.37	1.78
R : A x O	4	23.93	5.98	0.52
Factorial vs Testigos	1	51.39	51.39	4.49
Entre Testigos	2	39.55	19.77	1.73
Error	24	274.81	11.45	
Total	35	469.16		

CV: 8.29%

Los resultados del ANDEVA (Análisis de Variancia), indican que existen diferencias significativas solamente para las fuentes de variación factorial versus los testigos. Lo que implica que el factorial proporciones de roca fosfórica y flor de azufre junto a la fuentes orgánicas influyeron en general en forma diferente en la longitud de tallo en plantas de tomate, respecto a cuándo no se aplica nada

Cuadro 3.2. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para la longitud de tallo, contraste de tratamientos de roca fosfórica: flor de azufre y fuentes orgánicas (RF: FS: MO) vs testigos.

Contraste	Longitud de tallo cm	Tukey (0.05)
Factorial (RF:FS:MO)	41.5	a
Testigos	38.7	b

La prueba de Tukey (0.05) que se encuentra en el cuadro 3.2, indica que al aplicar el promedio de las proporciones de RF: FS: MO, esta permite una mayor formación de tallo en la planta de tomate, siendo 2.8 cm más, respecto a los testigos. Es decir, la mezcla de RF: FS: MO influyó en el desarrollo del tallo de la planta de tomate; el mismo que podría deberse por ejemplo a la disminución del pH del suelo, lo que a su vez mejoraría la disponibilidad de algunos elementos, permitiendo su mayor longitud o simplemente a la incorporación de las fuentes orgánica aplicadas.

En cuanto a la longitud de raíz, de acuerdo al análisis estadístico que se

muestra en el Anexo N° 01, se tiene, que no existe diferencia significativa en ningún caso. Debido posiblemente a que no se incubó la roca fosfórica con flor de azufre en presencia de las fuentes orgánicas, el tiempo suficiente, para que ésta pueda producir fósforo disponible necesario para el desarrollo radicular o que el fósforo disponible producido fue retenido por los microorganismos del suelo para su reproducción.

b) Del peso seco de la parte aérea y radicular.

Los Anexos N° 02 y 03 muestran los resultados y análisis del peso seco de la parte aérea y radicular de las plantas de tomate, que indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Esta respuesta podría estar relacionada al tiempo o periodo de incubación.

Al respecto por ejemplo Huamán (2010), refiere que el tiempo de incubación de la roca fosfórica en microorganismos benéficos es el que mayormente influye para las respuestas de todas las variables de rendimiento.

Una evaluación que es próxima a la realizada, es referida por Cerda (2012), quien concluye que la aplicación de flor de azufre al suelo alcalino tiene mejor efecto, al aplicarse 60 días antes de la siembra.

3.2. Segundo cultivo (maíz)

a) De la longitud de tallo y raíz de la planta

Cuadro 3.3. Análisis de variancia de la longitud de tallo (cm) al aplicar proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	607.25	55.20	3.37 **
Roca : Azufre	2	1.18	0.59	0.04
Orgánico	2	88.81	44.40	2.71
R : A x O	4	163.58	40.90	2.49
Factorial vs Testigos	1	270.75	270.75	16.52 **
Entre Testigos	2	82.93	41.46	2.53
Error	24	393.46	16.39	
Total	35	1000.71		

CV: 11.29%

Los resultados del ANDEVA (Análisis de Variancia) en el cuadro 3.3 indican que hay diferencia altamente significativa, entre los tratamientos, así como entre el factorial versus los testigos. En tal sentido se realiza la prueba de Tukey que se muestran en los cuadros 3.4 y 3.5 respectivamente.

Cuadro 3.4. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para la longitud de tallo al aplicar proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Tratamiento	Proporciones de RF: FS	Fuentes orgánicas	Longitud de tallo cm	Tukey (0.05)	
T06	5:1	Humus líquido	42.9	a	
T05	3:1	Humus líquido	40.5	a	
T07	1:1	Sin fuentes orgánicas	39.1	a	b
T02	3:1	Estiércol de ovino	38.7	a	b
T01	1:1	Estiércol de ovino	37.3	a	b
T04	1:1	Humus líquido	35.8	a	b
T03	5:1	Estiércol de ovino	35.6	a	b
T11	5:0	Humus líquido	34.8	a	b
T09	5:1	Sin fuentes orgánicas	34.6	a	b
T08	3:1	Sin fuentes orgánicas	32.3	a	b
T10	5:0	Estiércol de ovino	31.2	a	b
T12	0:0	Sin fuentes orgánicas	27.4		b

En el cuadro 3.4 de la prueba de Tukey (0.05) para la longitud de tallo del maíz, se observa que existen 03 grupos de tratamientos bien diferenciados, ocupando los primeros lugares sin diferenciarse entre sí, con mayor longitud de tallo de maíz, los tratamientos T6 (5RF:1FS y HL) y T5 (3RF:1FS y HL), con 42.9 y 40.5 cm respectivamente.

El siguiente grupo está constituido por aquellos tratamientos que recibieron proporciones de RF: FS con estiércol de ovino, humus líquido y algunos testigos, cuya longitud de tallos varían desde 39.1 a 31.2 cm. Mientras el último grupo está ocupado por el testigo absoluto con tan solo 27.4 cm.

En el cuadro 3.5 de la prueba de Tukey, se observa que respecto al factorial, los testigos resultan de menor tamaño, siendo en promedio 31.1 cm con respecto a 37.4 cm en el factorial, con el que se aporta RF: FS: MO que permitieron un mayor crecimiento.

Cuadro 3.5. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para la longitud de tallo, contraste de tratamientos de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO) vs testigos.

Contraste	Longitud de tallo cm	Tukey (0.05)
Factorial	37.4	a
Testigos	31.1	b

Cuadro 3.6. Análisis de variancia de la longitud de raíz (cm) con aplicación de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	834.72	75.88	3.49 **
Roca : Azufre	2	188.85	94.42	4.34 *
Roca : Azufre – Lineal	1	156.65	156.65	7.2 *
Roca : Azufre - Cuadrático	1	32.20	32.20	1.48
Orgánico	2	413.78	206.89	9.51 **
R : A x O	4	29.23	7.31	0.34
Factorial vs Testigos	1	100.92	100.92	4.64 *
Entre Testigos	2	101.95	50.97	2.34
Error	24	521.86	21.74	
Total	35	1356.58		

CV: 13.66%

Los resultados de la ANDEVA (Análisis de Variancia) del cuadro 3.6, indican que hay diferencia altamente significativa, entre los tratamientos y entre las fuentes de orgánicas (materia orgánica). Se encuentra diferencias significativas entre las proporciones de roca fosfórica y flor de azufre en promedio de las fuentes orgánicas, las que se ajustan al modelo lineal significativo. De manera similar existe diferencias significativas entre los tratamientos factoriales versus los testigos.

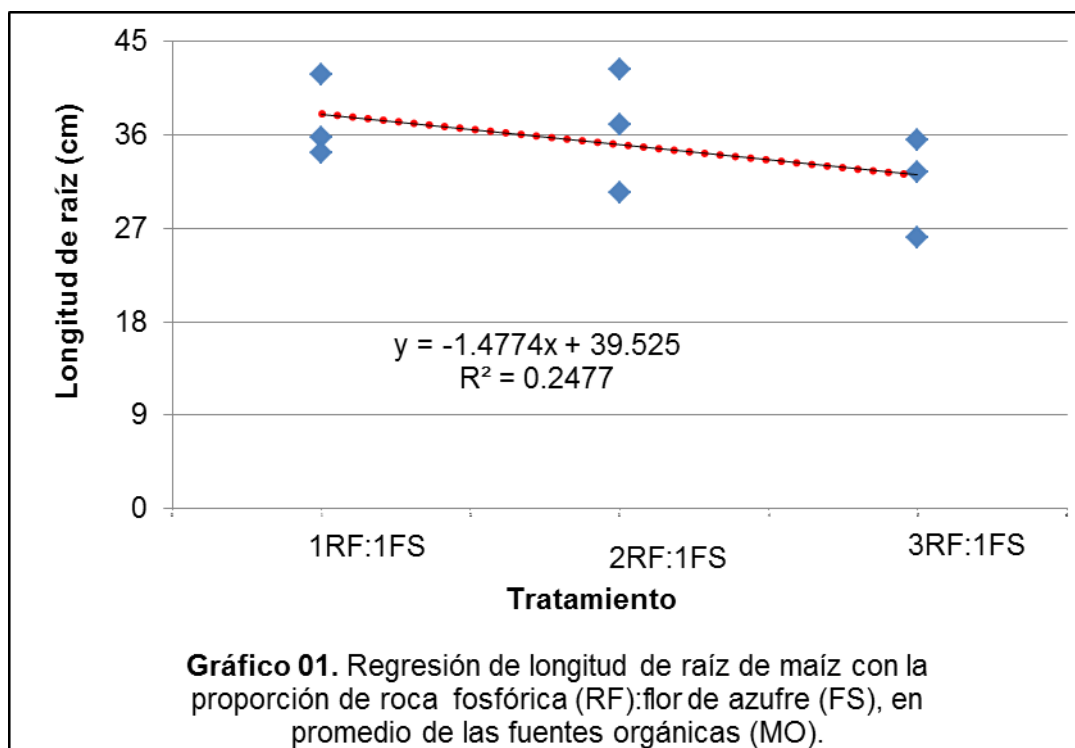
Cuadro 3.7. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para la longitud de raíz al aplicar proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Tratamiento	Proporciones de RF:FS	Fuentes orgánicas	Longitud de raíz cm	Tukey (0.05)	
T02	3:1	Estiércol de ovino	42.4	a	
T01	1:1	Estiércol de ovino	41.8	a	
T05	3:1	Humus líquido	37.0	a	b
T04	1:1	Humus líquido	35.8	a	b
T03	5:1	Estiércol de ovino	35.6	a	b
T07	1:1	Sin fuentes orgánicas	34.2	a	b
T12	0:0	Sin fuentes orgánicas	34.0	a	b
T11	5:0	Humus líquido	33.2	a	b
T06	5:1	Humus líquido	32.4	a	b
T08	3:1	Sin fuentes orgánicas	30.5	a	b
T10	5:0	Estiércol de ovino	26.5		b
T09	5:1	Sin fuentes orgánicas	26.2		b

La prueba de Tukey (0.05) que se observa en el cuadro 3.7, muestra que el

tratamiento T2 (3RF:1FS) y T1 (1RF:1FS) más estiércol de ovino permitieron obtener un mayor crecimiento de las raíces de maíz.

La tendencia lineal significativa de las proporciones de la roca fosfórica y flor de azufre en promedio de las fuentes orgánicas, cuya gráfica se observa en la figura 01 indica que, al aplicar mayor cantidad de roca fosfórica junto a la flor de azufre, las raíces de maíz se ven disminuidas en su crecimiento, probablemente debido a que en esas condiciones la flor de azufre ya no ejerce mayor influencia en el pH del entorno y la mayor concentración de roca fosfórica no favorece al cultivo. No obstante, cabe resaltar que cuando se aplican las proporciones iguales existe la posibilidad de mejorar algunas reacciones del suelo que permite un efecto positivo en la elongación de las raíces, con la consiguiente posibilidad de explorar más el entorno, básicamente cuando se aplica junto al estiércol de ovino.



Cuadro 3.8. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) de la longitud de raíz, para el efecto principal de las fuentes orgánicas.

Fuentes orgánicas	Longitud de raíz cm	Tukey (0.05)
Estiércol de ovino	39.9	a
Humus líquido	35.1	a
Sin fuentes orgánicas	30.3	b

Del cuadro 3.8 se extrae que la incorporación promedio de las proporciones de RF: FS junto al estiércol de ovino, permite mayor desarrollo radicular con 39.9 cm, sin diferenciarse estadísticamente de cuando se aplica con humus líquido (35.1 cm), pero diferenciados numéricamente y con mejor efecto a cuando no se pone fuentes orgánicas.

Lo que permite deducir que en general al incorporar estiércol de ovino (EO) y humus líquido (HL) estamos generando alguna condición adecuada, que favorezca las condiciones del suelo, así como la dilución de la roca fosfórica y la nutrición mineral del cultivo, por ello el mayor crecimiento. Ferrussi (1987, citado por Gil, 1994) menciona que el humus es un producto químicamente estable que regula la dinámica nutricional vegetal, actuando como uno de los fertilizantes de mejor calidad. Así también Gil (1994), señala que el fósforo disponible que proviene de la roca fosfórica de Sechura, incubada en humus de lombriz, se debe al efecto del humus. Esta solubilización está influenciada principalmente por la concentración de humus de lombriz y tiempo de permanencia de la roca fosfórica en el sustrato, por lo que en ella ocurre una serie de reacciones bioquímicas y transformaciones que son complejas.

Además, la intención de aplicar fuentes orgánicas, fue para permitir la oxidación de la flor de azufre, con el que se conseguiría mayor reacción e inclusive permitiría modificar el pH cuando menos del entorno, que tal parece esta situación se produce cuando se aplica las proporciones 1RF:1FS, tal como será discutido más adelante.

Ese mismo efecto se observa en el cuadro 3.9 al comparar el promedio del factorial respecto al testigo que resulta aproximadamente 4.1 cm más en la longitud de raíces.

Cuadro 3.9. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) de la longitud de raíz, para el contraste de tratamientos factoriales vs promedio de testigos.

Contraste	Longitud de raíz cm	Tukey (0.05)
Factorial	35.1	a
Testigos	31.2	b

b) Del peso seco de la parte aérea y radicular del maíz

Cuadro 3.10. Análisis de variancia del peso seco de la parte aérea (g) al aplicar proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	40.282	3.662	3.24 **
Roca : Azufre	2	0.218	0.109	0.10
Orgánico	2	8.096	4.048	3.58 *
R : A x O	4	3.202	0.801	0.71
Factorial vs Testigos	1	22.816	22.816	20.17 **
Entre Testigos	2	5.949	2.975	2.63
Error	24	27.150	1.131	
Total	35	67.432		

CV: 14.51%

Los resultados del ANDEVA (Análisis de Variancia), indican que solamente existe diferencia altamente significativa, entre los tratamientos y el factorial frente a los testigos y diferencia significativa entre los efectos de las fuentes orgánicas en promedio de las proporciones de la roca fosfórica y la flor de azufre.

Cuadro 3.11. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para el peso seco de la parte aérea (g) al aplicar proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Tratamiento	Proporciones de RF: FS	Fuentes orgánicas	Peso seco de la parte aérea (g/maceta)	Tukey (0.05)
T05	3:1	Humus líquido	8.78	a
T07	1:1	Sin fuentes orgánicas	8.59	a
T04	1:1	Humus líquido	8.18	a
T06	5:1	Humus líquido	8.14	a
T09	5:1	Sin fuentes orgánicas	7.72	a b
T08	3:1	Sin fuentes orgánicas	7.54	a b
T02	3:1	Estiércol de ovino	7.34	a b
T03	5:1	Estiércol de ovino	7.16	a b
T12	0:0	Sin fuentes orgánicas	6.75	a b
T01	1:1	Estiércol de ovino	6.66	a b
T11	5:0	Humus líquido	6.26	a b
T10	5:0	Estiércol de ovino	4.84	b

Realizada la prueba de Tukey (0.05) que se muestra en el cuadro 3.11 se observa que un primer grupo, constituido por los tratamientos con aplicación de proporciones de roca fosfórica junto a la flor de azufre y humus líquido, son los que permiten mayor crecimiento y desarrollo de la planta de maíz, dado que la materia seca de la parte aérea resulta mayor (8.14-8.78 g/maceta); cabe destacar que las proporciones 1RF:1FS con HL se comporta igual al tratamiento de similar proporción (1RF:1FS), pero sin fuentes orgánicas (8.59 g/maceta). Todos ellos son diferentes a un segundo grupo cuyos promedios del rendimiento son menores (6.26-7.72 g/maceta),

grupo caracterizado por que los tratamientos cuyas proporciones poseen más roca fosfórica y menos flor de azufre, pueden estar acompañados o no con abonos orgánicos. Por lo que consideramos que el exceso de roca fosfórica, estará posiblemente incrementando y/o provocando algún desequilibrio básicamente nutricional en el suelo que impide el normal desarrollo de la planta o no favorece al mayor crecimiento de la parte aérea de la planta, lo que, si se observa, cuando existe mayor cantidad de flor de azufre en presencia de humus líquido (HL). Por ello el último tratamiento solo con roca fosfórica provoca tan solo aproximadamente la mitad del rendimiento (4.84 g/maceta) respecto cuando se incorpora RF: FS y HL.

Resultados que no son del todo concordantes con lo obtenido por Torres y Cerda (2014), pues reportan que la incorporación de proporciones de 2RF: 1FS: 2EO a suelo alcalino permitió mayor rendimiento de materia seca de Ryegrass al segundo y tercer corte (6 y 9 meses, respectivamente), siendo mayor inclusive al tratamiento con Fosfato Diamónico. De otro lado también se observa el tiempo de incorporación, pues éste quizá deba ser mayor, ya que al ser mayor los efectos quizás se vean en forma más clara; tal como reportaron Cárdenas y Cerda (2015), que la incorporación de la proporción 2Rf: 1FS + EO + NK tuvo un comportamiento estadísticamente similar en su efecto sobre el rendimiento de maíz negro, en condiciones de campo a cuando se aplica NPK + EO.

Cuadro 3.12. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) del peso seco de la parte aérea, para el efecto principal de las fuentes orgánicas.

Fuentes orgánicas	Peso seco de la parte aérea (g/maceta)	Tukey (0.05)
Humus líquido	8.37	a
Sin fuentes orgánicas	7.95	a
Estiércol de ovino	7.05	b

El efecto antes mencionado se ratifica en la prueba de Tukey (0.05) del cuadro 3.12, donde nuevamente en el promedio de las proporciones, la aplicación de humus líquido (HL) o cuando no se aplica estiércol de ovino (EO) en promedio resulta influyendo en el mayor rendimiento de la materia seca de la parte aérea del maíz. Cabe mencionar que el mismo efecto se observa en el rendimiento de materia seca de la parte radicular que se muestra en el Anexo 05, donde se muestra nuevamente que la incorporación de 1RF:1FS; 3RF: FS con humus líquido (HL) o tan solo 1RF:1FS sin fuentes orgánicas permitieron mayores rendimientos, solo que sin diferencias significativas. Al respecto será importante a futuro considerar siempre que, al aportar en estiércol de ovino (EO), se debe tener presente sus características de pH y CE pues podría influir en el suelo, más cuando éste es alcalino.

Cuadro 3.13. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) del peso seco de la parte aérea, para el contraste de tratamientos factoriales vs promedio de testigos.

Contraste	Peso seco de la parte aérea (g/maceta)	Tukey (0.05)
Factorial	7.79	a
Testigos	5.95	b

La prueba de Tukey (0.05) del cuadro 3.13, muestran y afirman que la incorporación de más roca fosfórica sin flor de azufre con humus líquido (HL), estiércol de ovino (EO) o sin ellos provoca la disminución del rendimiento de la parte aérea del maíz, con similar efecto en la parte radicular.

La roca fosfórica es una fuente natural de fósforo de muy baja solubilidad (Khasawneh, 1980; Chien, 1977 y Rajan, 1987) que incrementa su solubilidad en medio ácido y en el tiempo, pero aplicada con acidulante en presencia de microorganismos especializados podría tener un efecto positivo en los suelos alcalinos, básicamente en aquellos pobres de fósforo disponible pues permitiría incrementar éste nutriente y los microelementos, al menos en el entorno de sus aplicación debido a que el acidulante provoca disminución del pH.

En relación al peso seco radicular de maíz en el Anexo 04, se puede observar que no se ha encontrado diferencias significativas.

3.3. Del contenido de fósforo disponible al final del ensayo

Cuadro 3.14. Análisis de variancia del contenido de fósforo (ppm) después de la aplicación de proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	53.26	4.84	1.40
Roca : Azufre	2	9.58	4.79	1.39
Orgánico	2	2.89	1.45	0.42
R : A x O	4	5.23	1.31	0.38
Factorial vs Testigos	1	0.29	0.29	0.08
Entre Testigos	2	35.27	17.64	5.10 *
Error	24	82.94	3.46	
Total	35	136.20		

CV: 4.35%

En el ANDEVA (Análisis de Variancia) que se muestra en el cuadro 3.14 en general para con todas las fuentes de variación no existe diferencia significativa, a excepción entre los tratamientos testigos que si manifiestan diferencias matemáticas.

En el Anexo N° 06, se observa que los contenidos de fósforo disponible luego de ambas cosechas (tomate y maíz) al cabo de 6 meses de aplicado los abonos al suelo, éstas varían desde 41.31 a 45.20 ppm, siendo todos ellos si bien estadísticamente iguales, pero todos mayores al testigo (40.42 ppm).

Cuadro 3.15. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) del contenido de fósforo (ppm) después de la aplicación de tratamientos testigos.

Tratamiento	Roca fosfórica kg	Flor de azufre kg	Fuentes orgánicas	Fósforo disponible ppm	Tukey (0.05)
T11	5	0	Humus líquido	45.20	a
T10	5	0	Estiércol de ovino	42.10	a b
T12	0	0	Sin fuentes orgánicas	40.42	b

La prueba de Tukey (0.05) del cuadro 3.15 deja entrever que la aplicación de la roca fosfórica en proporciones altas, independientemente de las fuentes orgánicas (5RF:0FS:0MO), aumenta la concentración de fósforo disponible del suelo. Así el fósforo disponible es mayor con humus líquido (45.20 ppm) y con estiércol de ovino (42.10 ppm) comparativamente al testigo con el que se obtiene 40.42 ppm. En este caso es importante señalar que la fuente orgánica (humus líquido) probablemente promueve a la actividad microbiana, que conlleva a generar cambios en todo el sistema suelo, quizás sin mayor efecto en el fosforo disponible, pero si en la influencia de otras características del suelo, como por ejemplo, en la actividad enzimática o permitir un aumento y/o balance de microelementos, en vista de que el rendimiento, tanto de la raíz como de la parte aérea, principalmente del segundo cultivo (maíz), deja entrever mejoras al aplicar esta fuente orgánica (fuentes), respecto del estiércol de ovino.

Trabajos de investigación orientadas al aumento de la eficiencia de roca

fosfórica indican que los microorganismos constituyen a la disolución. Así Gálvez (2009), al realizar el análisis de roca fosfórica incubada en Microorganismos Eficientes Naturales (MEN) halló que a los 0 días de incubación estas poseen un porcentaje mínimo de P_2O_5 disponible para la planta, equivalente a 0.001145%. Así mismo se observó que a medida que aumentan los días de incubación de la roca fosfórica en MEN el fósforo disponible aumenta, desde 0.11965% en los 5 días hasta 2.14115% en los 20 días de incubación. Por su parte Gil (1994), al realizar el análisis de la roca fosfórica incubada en humus de lombriz durante 45 días halló los valores promedios de 6.45% de fósforo disponible, mientras a los 30 días y 15 días fueron de 5.76% y 5.61% respectivamente.

3.4. Del pH del suelo, al final del ensayo

Cuadro 3.16. Análisis de variancia del pH después de la aplicación de proporciones de roca fosfórica (FS): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	0.261	0.024	2.59 *
Roca : Azufre	2	0.032	0.016	1.74
Orgánico	2	0.032	0.016	1.73
R : A x O	4	0.019	0.005	0.52
Factorial vs Testigos	1	0.111	0.111	12.17 **
Entre Testigos	2	0.067	0.033	3.65 *
Error	24	0.220	0.009	
Total	35	0.481		

CV (%)1.21

Los resultados de la ANDEVA (Análisis de Variancia), indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos y entre testigos, entre el factorial versus los testigos existen diferencias altamente significativas.

Cuadro 3.17. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para pH al aplicar proporciones de roca fosfórica (RF): flor de azufre (FS) y fuentes orgánicas (MO).

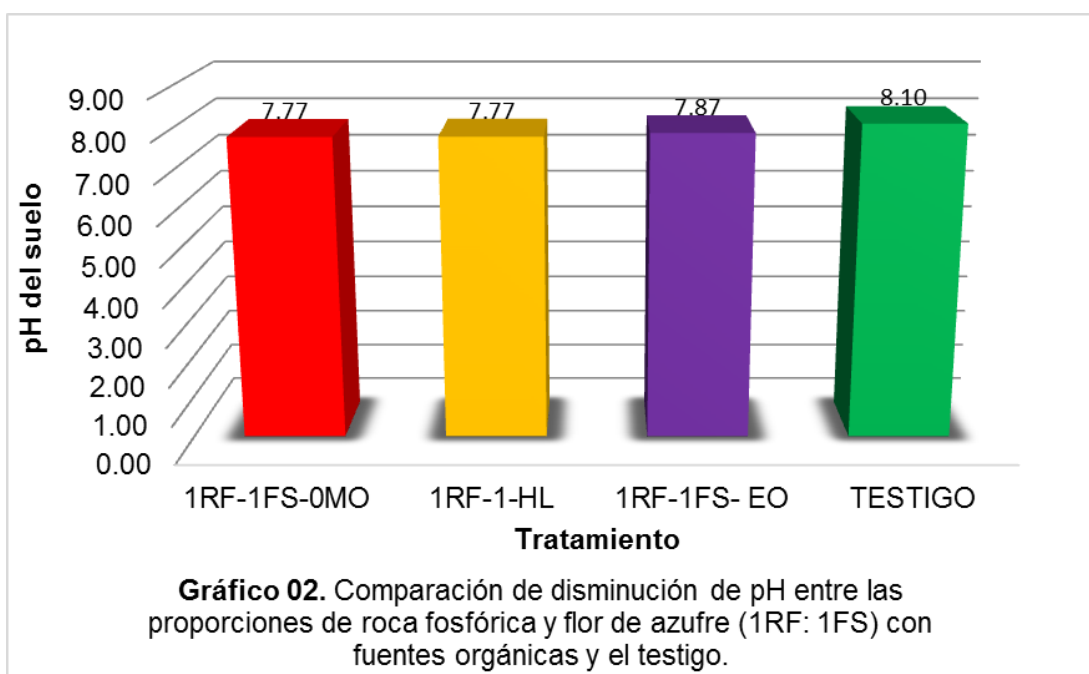
Tratamiento	Proporciones de RF: FS kg	Fuentes orgánicas	pH	Tukey (0.05)	
T12	0.0	Sin fuentes orgánicas	8.10	a	
T10	5:0	Estiércol de ovino	7.93	a	b
T02	3:1	Estiércol de ovino	7.91	a	b
T11	5:0	Humus líquido	7.91	a	b
T05	3:1	Humus líquido	7.90	a	b
T06	5:1	Humus líquido	7.90	a	b
T03	5:1	Estiércol de ovino	7.89	a	b
T01	1:1	Estiércol de ovino	7.87	a	b
T09	5:1	Sin fuentes orgánicas	7.87	a	b
T08	3:1	Sin fuentes orgánicas	7.78		b
T04	1:1	Humus líquido	7.77		b
T07	1:1	Sin fuentes orgánicas	7.77		b

Realizada la prueba de Tukey (0.05) del cuadro 3.17 muestra que aquellos tratamientos que recibieron las proporciones 1RF:1FS con HL o sin fuentes orgánicas, son las que permitieron bajar más el pH del suelo, sin

diferenciarse entre sí, inclusive con la proporción 3RF: 1FS: 0MO, siendo la acidulación mayor cuando se emplea 1RF:1FS. Este hecho supone que para la oxidación de la flor de azufre, que se convierte en H_2SO_4 en presencia del agua, tuvo que existir microorganismos que actuaron y provocaron la reacción. Respecto a este último cabe mencionar que los microorganismos que existen en forma natural en el suelo, así como los que se reprodujeron en presencia del humus líquido fueron los que en el período de seis meses produjeron la disminución del pH.

Cabe notar que en presencia del estiércol de ovino, sobre todo en aquellos tratamientos con proporciones de 3 ó 5 RF:1FS, los microorganismos nativos del suelo o los que existieron en el estiércol en ese período corto de tiempo, por alguna razón (pudiendo ser el elevado pH del estiércol de ovino (8.51) o la elevada CE (1.3 dS.m^{-1})) produjeron alteraciones en la presión osmótica, mayor alcalinización del medio o la capacidad tampón del medio impidió la reacción de oxidación que normalmente se produce con la flor de azufre. Respecto a este último muchos autores refieren lo mismo y en nuestro medio Torres y Cerda (2014), al incorporar 2RF:1FS:2EO en suelo alcalino, a los 12 meses de evaluación encontraron que el pH del suelo disminuyó en promedio de 0.44 unidades. Así en el gráfico 02, se observa que en los tratamientos 1RF: 1FS el pH disminuye respecto al inicial (8.11ppm) y en menor magnitud en presencia de estiércol de ovino, todos ellos menores en pH respecto al testigo.

Con la aplicación de tratamientos podríamos afirmar que la disminución del pH en alguna dimensión respecto al testigo aun cuando no fuera tan espectacular, tiene sus efectos sobre la solubilidad de otros componentes del suelo, principalmente microelementos y otros; dado que no se percibe mucho en el fósforo proveniente de la roca fosfórica. Sin embargo, si se traduce, en mayor rendimiento de materia seca de raíz y/o parte aérea de ambos cultivos, con las que se supera al testigo.



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. A cuatro meses de incorporada las proporciones de RF: FS: MO no tuvieron efecto diferenciado en el rendimiento del primer cultivo.
2. La incorporación de las proporciones 1RF: FS; 3RF: 1FS y 5RF: 1FS con Humus Líquido y 1RF: 1FS sin fuentes orgánicas permitieron el mayor rendimiento de materia seca de la parte aérea del segundo cultivo indicador (maíz).
3. La incorporación de roca fosfórica con o sin flor de azufre y fuentes orgánicas, luego de seis meses, no influye en la concentración de fósforo disponible del suelo.
4. El pH del suelo, a los seis meses, disminuye hasta en 0.33 unidades con la incorporación de 1RF: 1FS con HL.

4.2. Recomendaciones

1. Continuar evaluando la incorporación de roca fosfórica y flor de azufre durante mayor tiempo de incubación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, J. 1967. Suelos, abonos y enmiendas. Editorial Dossat, S.A. Madrid España. 212 – 213 P.

Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. México, AGT Editor, 163-218 P.

Avilés, E.; Núñez, P.; Pérez, A.; Almonte, I.; López, G. y Martínez, C. 2010. Caracterización física y biológica de materiales alternativos para la elaboración de sustratos.

Disponible en:

www.cedaf.org.do/eventos/cfcs_2010/presentaciones/04_miercoles/.../20p.pdf

Acceso julio 21 del 2012

Baligar, V.; Ageria, N. y Ze, Z. 2001. Nutrient use efficiency in plants. Com. Soil Science Plant Anal., 32: 921-950 P.

Bhatti, T. y Yawar, W. 2010. Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. Central analytical facility, Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology. Islamabad, Pakistan.

Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. México. 281 P.

Barceló, J.; Nicolás, G.; Sabater, B. y Sánchez, R. 2009. Fisiología Vegetal. Grupo Anaya, S.A, Madrid. 131 P.

Barreto, E. 2012. Contaminación por Fertilizantes Químicos.

Disponible en:

<http://ccqc.pangea.org/cast/sosteni/soscast.htm>, <http://fertrade.com.mx/historia-y-clases-de-fertilizantes.html>, <http://fgonzalesh.blogspot.mx/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>.

Acceso el 09 de marzo del 2015.

Buckman, H. y Brady, N. 1993. Naturaleza y propiedades de los suelos. NORIEGA EDITORES, México. 147, 469 y 500 P.

Bellot, J. 1991. Eficiencia agronómica de la roca fosfórica en suelos de Bolivia. Universidad Mayor de San Simón, Agruc, Agroecología Cochabamba. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 17:97-110 P.

Disponible en:

http://www.redpav.avepagro.org.ve/fagro/v17_14/v171a080.html

Acceso el 09 de marzo del 2015.

Calderón, G. 2011. Biofertilizantes en el Cultivo de Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), Canaán a 2750 msnm. Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 4-19 P.

Carrillo, L. 2003. Microbiología Agrícola. Capítulo 3. Universidad Nacional del Salta.

Cárdenas, P. 2015. Proporciones de Roca Fosfatada: Flor de Azufre en el Rendimiento de Maíz Morado (*Zea mays* L.) en Suelo Alcalino, Cangari – Huanta. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 19-20, 24 y 26 P.

Carbajal, M. 2004. Niveles de Fosfato de Sechura y Fosfocompost Con y Sin Micorriza en maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de Invernadero,

Ayacucho a 2750 msnm. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 1-7, 13-16, 38, 42 y 46 P.

Cerda, G.M. 2012. Dosis y Período de aplicación de azufre elemental en suelo alcalino y su efecto en maíz negro (*Zea mays L.*). Trabajo de investigación –PIPG-FCA-UNSCH. Ayacucho.

Chalk, P.; Zapata, F. y Keerthisinghe, G. 2002. Towards integrated soil, water and nutrient management in cropping systems: the role of nuclear techniques. In: IUSS, ed. Soil Science: confronting new realities in the 21st century. Transactions 17th World congress of Soil Science. Bangkok.

Chien, S. 2003. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock: a general review. In: S.S.S. Rajan y Chien, eds. Direct application of phosphate rock and related technology: latest developments and practical experiences. Proc. Int. Meeting. Estados Unidos de America, IDC. 441P.

Chuchon, Q. 1999. Efecto de los Fertilizantes Fosfóricos y Nitro – potásica con Humus de Lombriz y Riego de Alta Frecuencia en el Rendimiento del Brocoli (*Brassica oleracea L.*) Variedad Italiaca a 2750 msnm, Pampa del Arco, Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH.

Conpagnomni, L. 1983. Guía moderna de lombrices. El abono más económico, rentable y eficaz. Barcelona España.

Dommergues, Y. y Mangenot, F. 1970. Ecologie microbienne du sol. Paris. Massonet Cie, 92-154 P.

Domínguez, A. 1970. Tratado de Fertilización. 2 edición. Edición MUNDT PRENSA. Castellano; 28001 Madrid. 141-155 P.

Eneek, 2013. Agricultura ecológica. Compostaje de estiércoles.

Disponible en:

http://www.eneek.org/descargas/dteknikoak/GU%C3%8DA%20COMPOST_ENEEK_2013.PD.

Acceso en setiembre 06 del 2016

FAO. 2007. Utilización de las rocas fosfáticas para una agricultura sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

FAO. 1998. Guide to efficient plant nutrient management. Land and Water Development. 11 divisions. Rome.

Fernández, H. 2009. Aplicación de Roca Fosfórica y Diatomita Incubada en Microorganismos Efectivos en el Cultivo de Maíz Morado (*Zea mays L.*), Canaán-INIA a 2750 msnm. Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 51 y 93-94 P.

Fernández, V.; Rodríguez, L. y Aquino, N. 2014. Artículo. Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el departamento de Madre de Dios. Iquitos.

Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5072955.pdf>

Acceso en setiembre 06 del 2016

Gálvez, J. 2009. Efecto del Fosfato de Sechura, Incubada en una Solución de Microorganismos en el Rendimiento de Tomate (*Lycopersicum sculentum Mill*) en Ayacucho a 2750 msnm". Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 29-30y 60-61 P.

Gil, V. 1994. El Efecto del Humus de Lombriz en la Solubilización del Fosfato de Sechura y su Aprovechamiento por las Planta, Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSH. 8-34, 39, 45, 51-52 y 108 P.

Jones, J. 1978. Distribución de las Formas de Fósforo en Perfiles y su Disponibilidad para las Plantas, en Algunos Suelos Agrícolas de Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 1-35, 30-34, 51-61, 93 y 103-106 P.

Kamh, M.; Horst, W.; Amer, F.; Mostafa, H. y Maier, P. 1999. Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. Plant Soil, 211: 19-27 P.

Lang, J. 2013. Efectos de los fertilizantes y pesticidas.

Disponible en:

http://www.ehowenespanol.com/efectos-fertilizantes-pesticidas-lista_106484/

Acceso el 09 de marzo del 2013.

Marcano E.; Mohsin M. y Rodríguez, C. 1999. Disolución de la roca fosfórica de Navay, Estado de Táchira, durante el compostaje de la bora, Agronomía Tropical 49(4):455-474 P.

Disponible en:

http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4904/arti/marcano_a.htm

Acceso el 09 de marzo del 2015.

Huamán, D. 2010. Efecto de la Roca Fosfórica Incubada en una Solución de Microorganismo en el Rendimiento de Maní (*Arachis hipogae L.*), Anco, 750 msnm. La Mar. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 42 y 85 P.

Huaraca, N. 2010. Roca Fosfórica y Diatomita Incubada con Microorganismos Benéficos en el Rendimiento de Cebada (*Hordeum vulgare*), Canaán, 2750 msnm. Ayacucho. Tesis UNSCH. 48-54 y 105 P.

Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. Soil Sci., 165: 57-72 P.

Lopez, M. 1994. Horticultura. Editorial Trillas, S.A. Primera Edición. México. 93-95 y 293-294 P.

Mendoza, D. 1994. Influencia de los Hongos Micorrísicos, en la Disponibilidad de Fósforo para las Plantas de Trigo (*Triticum sativum*) a Partir de la Roca Fosfórica de Sechura en Suelos de Tres Pisos Ecológicos del Departamento de Ayacucho. Tesis ingeniero Agrónomo UNSCH 26 y 132 P.

Messiaen, C.M. 1979. Las Hortalizas, Técnicas, Agrícolas y Producciones Tropicales, Traducida del francés por Juan E. y M. Dolores Ferreny. Primera Edición Mexicana. México. 160 y 176-178 P.

Montenegro, A. y Zapata, F. 2002. Rape genotypic defferences in P uptake and utilization from phosphate rocks in an andisol of Chile. Nut. Cyc. Agroecosys. 63(1): 27-33.

Morrillo A., Sequera O. y Ramírez R. Artículo sobre Roca fosfórica acidulada, como fuente de fósforo en un suelo ácido con o sin encalado.

Disponible en:

<http://www.fertilizando.com/articulos/Roca%20Fosforica%20Acidulado%20Fuente%20Fosforo.asp>.

Acceso el 09 de marzo del 2015.

Moroto, J.V. 1990. Horticultura para Aficionados, Agro guías. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 171-178 P.

Ochoa, P. 2011. Aplicaciones de Roca Fosfórica incubada con una Solución de Microorganismos, en el Rendimiento de Papa (*Solanum Tuberosum Sp.*) Variedad Roja Ayacuchana, Canaán, 2735 msnm. INIA Ayacucho, Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 42 y 69 P.

Pérez, M. J. y Smyth, T.J. 2005. Potencial agronómico y eficiencia agronómica de tres rocas fosfóricas de diferente composición mineralógica. Rev. Fac. Agron. 22 (3): 214 – 228.

Pérez, K. 2010. Efecto de Microorganismos solubilizadores de Fósforo, en el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum L.*), Canaán, 3750 msnm – Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 53-57, 84 y 88-90 P.

Piñuela, J. El Humus de Lombriz.

Disponible en:

[jp_murdock\[arroba\]hotmai.com01080\[arroba\]correo.zamorano.edu.hn](mailto:jp_murdock@hotmai.com01080@correo.zamorano.edu.hn)

Acceso el 09 de marzo del 2011.

Rajan, S.; Watkinson, J. y Sinclair, A. 1996. Phosphate rock for direct application to soil. Ad. Agron., 57: 78-159 P.

Robles, E. 2009; Guía de teoría de Cereales y leguminosas, Escuela Profesional de Agronomía, UNSCH, 4-5 P.

Reyes, I. y Gamboa, J. 1991. Efecto de dos tipos de materia orgánica sobre la solubilidad de la roca fosfórica. In: II red latino americana de Roca Fosfórica. San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. 27P.

Stevenson, F. (1986). Cycles of soil. New York. Jhon Wiley & Sons, 5-23P.

Sierra B. C. y Rojas W. C. 2016. La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos.

Disponible en:

<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR28123.pdf>

Acceso en setiembre 06 del 2016

Tisdale, L. y Nelson L. 1960. Fertilidad de los suelos y Fertilizantes. Montaner y Simón S.A. Barcelona. 83 – 88 y 212 – 232 P.

Torres, T. 2014. Roca Fosfatada Incubada: Su Comportamiento en el Rendimiento de Rye Grass Inglés (*Lolium perenne*) en Tres Tipos de Suelos de Ayacucho. Tesis Ingeniero Agrónomo UNSCH. 35 y 65-66 P.

United Nations Environment Programme (UNEP). 2000. Global environment outlook 2000. Londres, Earthscan Publications Ltd.

Weil, S.; Gregg, P. y Bolan, N. 1994. Influence of soil moisture on the dissolution of reactive phosphate rocks. In: L.D. Currie y P. Loganathan, eds. The efficient use of fertilizers in a changing environment: reconciling productivity and sustainability, 75-81 P. Occasional Report N° 7. Palmerston North, New Zealand, Fertilizer and Lime Research centre, Massey University.

Zapata, F. 2003. FAO/IAEA research activities on direct application of phosphate rocks for sustainable crop production. Estados Unidos de América. 441P.

Revisión Electrónica:

- <http://www.euroresidentes.com/Alimentos/tomate.htm> (26/ 02 /11).
- <http://articulos.infojardin.com/huerto/Fichas/tomate-plagas.htm> (26/02/11).

- http://www.agrobit.com/info_tecnica/alternativos/horticultura/al_000014ho.htm (26/02/11)
- <http://www.agromeat.com> (26/02/11).
- <http://www.monografias.com/trabajos71/humusliquidolombrizrojaCalifornia/la/humuslíquido-lombriz-roja-californiana.shtml> (26/02/11).
- <http://www.plantaverde.com> (26/02/11).
- <http://www.mono-grafias.com/trabajos12/mncuarto/mncuarto.shtml> (26/02 /11).
- http://www.agroforestalsanremo.com/humus_liq.php (26/02/11).
- <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate3.htm> (28/ 02 /11).
- <http://www.cannabiscafe.net/foros/showthread.php/194858-Estiercoles-y-sus-propiedades-%28tabla-de-riquezas%29> (21/07/2012).
- <http://www.euroresidentes.com/Alimentos/tomate.htm> (26/02/11).
- <http://articulos.infojardin.com/huerto/Fichas/tomate-plagas.htm> (26/02/11).
- http://Es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays (01/02/12).
- <http://Eiagro.galeon.com/aficiones1553013.html> (01/02/12).
- <http://www.monografias.com/trabajos12/mncuarto/mncuarto.shtml> (01/02/12).
- <http://www.jardinerosenaccion.es/estiercol.php> (06/09/16)

ANEXO

Anexo N° 01: Análisis de variancia de la longitud de raíz (cm) de tomate con aplicación de roca fosfórica: azufre y fuentes orgánicas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	126.66	11.51	0.68
Roca : Azufre	2	25.63	12.81	0.76
Organico	2	2.34	1.17	0.07
R : A x O	4	31.24	7.81	0.46
Factorial vs Testigos	1	6.31	6.31	0.37
Entre Testigos	2	61.15	30.57	1.82
Error	24	403.91	16.83	
Total	35	530.57		

CV: 17.57 %

Anexo N° 02. Análisis de variancia del peso seco de la parte aérea (g) de tomate con aplicación de roca fosfórica: azufre y fuentes orgánicas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	32.95	3.00	1.25
Roca : Azufre	2	3.22	1.61	0.67
Orgánico	2	4.46	2.23	0.93
R : A x O	4	13.64	3.41	1.42
Factorial vs Testigos	1	0.18	0.18	0.08
Entre Testigos	2	11.43	5.72	2.38
Error	24	57.70	2.40	
Total	35	90.64		

CV: 12.68%

Anexo N° 03. Análisis de variancia del peso seco de raíz (g) de tomate con aplicación de roca fosfórica: azufre y fuentes orgánicas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	18.37	1.67	1.39
Roca : Azufre	2	4.45	2.22	1.86
orgánico	2	3.91	1.95	1.63
R : A x O	4	7.42	1.85	1.55
Factorial vs Testigos	1	0.17	0.17	0.14
Entre Testigos	2	2.43	1.21	1.01
Error	24	28.73	1.20	
Total	35	47.10		

CV: 30.13%

Anexo N° 04. Análisis de variancia del peso seco de raíz (g) de maíz con aplicación de roca fosfórica: azufre y fuentes orgánicas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Fc
Tratamiento	11	36.053	3.278	1.37
Roca : Azufre	2	1.623	0.812	0.34
orgánico	2	3.869	1.935	0.81
R : A x O	4	11.457	2.864	1.20
Factorial vs Testigos	1	7.841	7.841	3.28
Entre Testigos	2	11.263	5.631	2.36
Error	24	57.336	2.389	
Total	35	93.388		

CV: 34.46%

Anexo N° 05. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para el peso seco de raíz (g) de maíz al aplicar proporciones de roca fosfórica: azufre y materia orgánica.

Tratamiento	Proporciones de RF: FS kg	Fuentes orgánicas	Peso seco raíz g	Tukey (0.05)
t01	1:1	Estiércol de ovino	4.63	a
t02	3:1	Estiércol de ovino	4.22	a
t03	5:1	Estiércol de ovino	4.89	a
t04	1:1	Humus líquido	5.14	a
t05	3:1	Humus líquido	6.67	a
t06	5:1	Humus líquido	4.03	a
t07	1:1	Sin fuentes orgánicas	5.00	a
t08	3:1	Sin fuentes orgánicas	3.91	a
t09	5:1	Sin fuentes orgánicas	4.30	a
t10	5:0	Estiércol de ovino	2.20	a
t11	5:0	Humus líquido	3.92	a
t12	0:0	Sin fuentes orgánicas	4.91	a

Anexo 06. Contenido promedio de fosforo disponible en el suelo luego de aplicar proporciones de roca fosfórica junto a la flor de azufre y fuentes orgánicas al cabo de 6 meses.

Tratamiento	Proporciones de RF: FS kg	Fuentes orgánicas	Fosforo disponible ppm
t01	1:1	Estiércol de ovino	41.31
t02	3:1	Estiércol de ovino	42.32
t03	5:1	Estiércol de ovino	43.33
t04	1:1	Humus líquido	42.63
t05	3:1	Humus líquido	42.22
t06	5:1	Humus líquido	44.38
t07	1:1	Sin fuentes orgánicas	42.54
t08	3:1	Sin fuentes orgánicas	43.24
t09	5:1	Sin fuentes orgánicas	43.04
t10	5:0	Estiércol de ovino	42.10
t11	5:0	Humus líquido	45.20
t12	0:0	Sin fuentes orgánicas	40.42



Anexo 07. Imagen de preparación de suelo empleado.



Anexo 08. Imagen de almacenado del tomate (primer cultivo indicador).



Anexo 09. Imagen del transplante de las plántulas de tomate.



Anexo 10. Imagen de abonamiento de los tratamientos.



Anexo 10. Imagen de siembra de maíz (segundo cultivo indicador).



Anexo 11. Imagen de cosecha de la parte aérea.



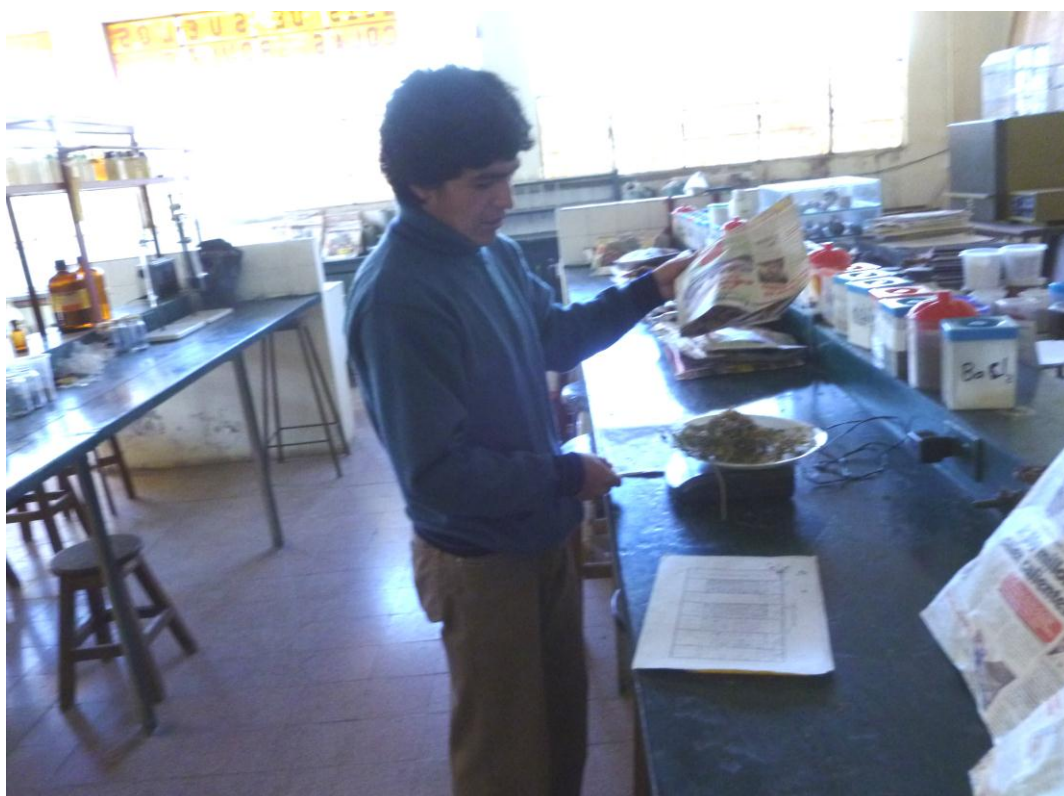
Anexo 12. Imagen de cosecha de la parte radicular.



Anexo 13. Imagen de medición de la longitud de la parte aérea.



Anexo 14. Imagen de embolsado y etiquetado de tratamientos.



Anexo 15. Imagen de pesaje de la materia seca de las plantas indicadoras.