

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE AGRONOMIA



**"NIVELES DE AZUFRE EN LA REACCIÓN DEL SUELO
ALCALINO Y RENDIMIENTO DE NARANJO (*Citrus sinensis*) EN
SAN MIGUEL DE MAYOCC – CHURCAMPÁ - HUANCÁVELICA"**

Tesis para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por:

Gilmer García Gómez

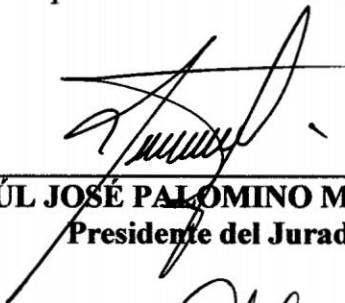
AYACUCHO — PERÚ

2014

**"NIVELES DE AZUFRE EN LA REACCIÓN DEL SUELO ALCALINO Y
RENDIMIENTO DE NARANJO (*Citrus sinensis*) EN SAN MIGUEL DE
MAYOCC – CHURCAMPÁ - HUANCÁVELICA"**

Recomendado : 24 de Julio de 2014

Aprobado : 01 de Agosto de 2014



Dr. RAÚL JOSÉ PALOMINO MARCATOMA
Presidente del Jurado



M.Sc. MARHENY CERDA GÓMEZ
Miembro de Jurado



M.Sc. ALEX LÁZARO TINEO BERMÚDEZ
Miembro de Jurado



Ing. JUAN BENJAMÍN GIRÓN MOLINA
Miembro de Jurado

Dr. RÓMULO AGUSTÍN. SOLANO RAMOS
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

DEDICATORIA

A mis padres Darío y Olinda, a mi esposa Sonia, a mis hijos Álvaro, Nicolás, Carlos y a mis hermanos por todo el amor incondicional que me dan; a todas aquellas personas que han aportado en mi crecimiento profesional y personal..

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional San Cristóbal De Huamanga y a la Escuela de Formación Profesional de Agronomía, que a través de sus docentes y maestros me han brindado todo el apoyo y han contribuido de forma incondicional a mi formación profesional.

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

A la M. Sc. Ing. Marhleri Cerda Gómez Profesora de esta prestigiosa Facultad, por su asesoramiento, aporte y colaboración para la realización del presente trabajo de investigación

Al señor Mario Pérez por permitirme realizar este trabajo profesional en su predio, por darme todo su apoyo y facilidades brindadas para poder desarrollarlo.

ÍNDICE

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMEN | 03 |
| I. INTRODUCCIÓN | 05 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 08 |
| 2.1 LA REACCIÓN DEL SUELO (pH) | 08 |
| a) Efectos del pH | 09 |
| 2.2 SUELOS ALCALINOS | 10 |
| 2.3 GESTIÓN DE LOS SUELOS BÁSICOS | 12 |
| a) Respiración anaeróbica | 16 |
| b) Sulfatorreducción | 16 |
| c) Sulfooxidación | 17 |
| 2.4 EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EN EL SUELO | 18 |
| 2.5 EL FÓSFORO | 20 |
| 2.5.1 Comportamiento del fósforo en el suelo. | 21 |
| 2.5.2 Factores que influyen en la disponibilidad del fosforo | 22 |
| 2.5.3 Otros factores que afectan la disponibilidad de fósforo | 23 |
| 2.5.4 Capacidad tampón del fosforo | 26 |
| 2.6 EL NARANJO | 26 |
| 2.6.1. Origen e historia | 26 |
| 2.6.2 Taxonomía y morfología | 27 |
| 2.6.3 Valor Nutricional | 28 |
| 2.6.4 Requerimientos edafoclimáticos | 30 |
| 2.6.5 Variedades | 31 |
| 2.6.6. Manejo Agronómico | 32 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 36 |
| 3.1 UBICACIÓN | 36 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL MEDIO | 37 |
| 3.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO | 37 |
| 3.4 PLANTA INDICADORA | 37 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.5 | CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL ESTIÉRCOL | 38 |
| 3.6 | CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA DE RIEGO | 39 |
| 3.7 | DISEÑO METODOLÓGICO | 40 |
| 3.8 | TRATAMIENTOS | 41 |
| 3.9 | PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL | 42 |
| 3.9.1 | Recolección de suelo para análisis | 42 |
| 3.9.2 | Recolección de muestra de agua para análisis | 42 |
| 3.9.3 | Aplicación de flor de azufre y estiércol | 43 |
| 3.9.4 | Abonamiento | 43 |
| 3.9.5 | Control de maleza | 43 |
| 3.9.6 | Riego y control fitosanitario | 44 |
| 3.9.7 | Periodo de evaluación | 44 |
| 3.9.8 | Recolección de muestras de suelo para evaluación | 44 |
| 3.10 | PARÁMETROS DE EVALUACIÓN | 45 |
| 3.10.1 | Parámetros químicos del suelo. | 45 |
| 3.10.2 | Evaluación del cultivo. | 45 |
| 3.11 | ANÁLISIS ESTADÍSTICOS | 45 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 46 |
| 4.1 | DE LA REACCIÓN DEL SUELO | 46 |
| 4.2 | DEL CONTENIDO DE FOSFORO DISPONIBLE | 60 |
| 4.3 | DEL NUMERO DE FRUTOS DE NARANJO | 68 |
| 4.4 | DEL PESO TOTAL FRUTOS DE NARANJO | 69 |
| 4.5 | DEL DIÁMETRO DE FRUTOS DE NARANJO | 71 |
| V. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 73 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 75 |

**"NIVELES DE AZUFRE EN LA REACCIÓN DEL SUELO ALCALINO Y
RENDIMIENTO DE NARANJO (*Citrus sinensis*) EN SAN MIGUEL DE
MAYOCC – CHURCAMPА - HUANCVELICA"**

RESUMEN

En la localidad de San Miguel de MayoCC, provincia de Churcampa del departamento de Huancavelica, en campo de naranjo de la variedad Washington Navel (5 años) sobre suelo fuertemente alcalino, se condujo un experimento consistente de 4 niveles de flor de azufre (N0 = 00 t.ha⁻¹, N1= 1.0 t.ha⁻¹, N2= 1.5 t.ha⁻¹, N3= 2.0 t.ha⁻¹) junto a estiércol (12.5 t.ha⁻¹), así como dos adicionales (sólo estiércol y sólo azufre, en la dosis alta). Los seis tratamientos fueron dispuestos en el Diseño Completamente Randomizado, con 3 repeticiones, haciendo un total de 18 unidades experimentales (un árbol/unidad experimental). El 09/12/2011 se aplicó en orden estiércol y flor de azufre, alrededor de la planta en la proyección

de la copa en surco de 20 x 30 cm de profundidad y ancho respectivamente, habiéndose cubierto con tierra. Se consideró el abonamiento por árbol consistente en fosfato diamónico (150 g/planta), nitrato de amonio (84 g/planta) hasta en tres oportunidades, sulfato de potasio (150 g/planta), y sulfomag (100 g/planta), además Fetrimon combi (foliar). Se evaluó en cinco períodos durante catorce meses la variación de pH y el contenido de P disponible en el suelo. Al final del periodo vegetativo el número, diámetro y el peso de frutos de naranja. Los resultados del análisis de variancia y las tendencias, muestran que a ocho meses de incorporado 3.2 Kg flor de azufre con 20 Kg de estiércol/árbol, el pH disminuye de 8.89 a 7.26, ajustándose a un modelo de tercer orden, luego el efecto es similar a las dosis 1.6 y 2.4 Kg de FS, con los que se alcanza 7.61-7.77 de pH a catorce meses. Hasta los cinco meses de incorporado los abonos, la dosis de 3.2 Kg flor de azufre-estiércol/árbol admite mayor disponibilidad del contenido de P, posteriormente los valores son similares entre sí (41.28 - 44.83 ppm P) a catorce meses. El número, diámetro y peso total de frutos de naranja resultan mayores con la aplicación de 3.2 Kg de flor de azufre y estiércol sin diferenciarse estadísticamente de los niveles 1.6 y 2.4 Kg de FS.

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos constituyen un factor de producción muy importante para cualquier cultivo y en la naturaleza existen diversos tipos de suelos al presentar diferencias desde el material de origen, grados de evolución, etc. de manera que muestran características únicas; es decir, cada uno de ellos corresponden a individuos diferentes, por lo tanto son recursos que según sus características merecen un manejo diferente. Una propiedad del suelo que se considera en primer orden es la reacción o pH y pueden ser desde ligeramente ácidos hasta muy alcalinos. Esta característica química, permite inferir, a su vez, otros aspectos adicionales relacionados con su productividad en razón a que influye sobre las otras propiedades de suelo y es en este medio, con dinámica diversa que se adaptan las plantas, sin embargo se observan algunas alteraciones cuando los niveles de la reacción no son los más adecuados. Así un sector agrícola distribuido en las zonas semi áridas de Mayocc- Huancavelica, poseen suelos alcalinos o lo que es lo mismo presentan un pH alto, afectando a la disponibilidad de algunos

elementos minerales esenciales para el desarrollo de cultivos, Porta et al., (2003) donde inclusive los fosfatos que son incorporados sufren el fenómeno de la fijación Havlin et al., (1999). La reacción entonces puede influir indirectamente en el crecimiento de la planta a través de su efecto en la solubilidad y disponibilidad de nutrientes, Tan, (1993). Deficiencias comunes son las del fósforo y micronutrientes tales como hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y cobre. Cifuentes y Lindemann, (1993); Tan, (1993). En este contexto, hay la necesidad urgente de buscar medidas que mejoren el uso del fósforo del suelo así como los incorporados vía fertilización. Entre las acciones a seguir se considera el disminuir el pH de suelos alcalinos, mediante la adición de azufre elemental. Fenn et al., (1990; Cifuentes y Lindemann, (1993); Miyamoto, (1998). No obstante se debe tener en cuenta que el azufre elemental en el suelo, está influenciado por los factores físicos y orgánicos del suelo (humedad, temperatura, materia orgánica), tamaño de la partícula de azufre. Deng y Dick, (1990) y un factor muy importante que es la presencia de microorganismos, en razón a que este compuesto está sujeto a oxidación microbiológica y se transforma a sulfato en condiciones aeróbicas, provocando así la disminución de pH del suelo Brady, (1990); Miyamoto, 1998). Autores como Chapman (1990) y Miyamoto (1998) refieren que los microorganismos que intervienen en este proceso son principalmente los del género *Thiobacillus*, siendo *Thiobacillus thiooxidans* la especie más importante. Por las consideraciones vertidas se propone el presente trabajo de investigación con los objetivos siguientes:

1. Cuantificar el nivel de flor de azufre, que permita el menor valor de pH del suelo, en la zona de aplicación.

2. **Cuantificar el nivel de flor de azufre: que incremente la disponibilidad del fosforo.**
3. **Cuantificar el nivel de flor de azufre, que incremente el rendimiento y mejore algunas cualidades del fruto del naranjo.**

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 LA REACCIÓN DEL SUELO (pH)

La reacción de un suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad del mismo y generalmente se expresa por medio de un valor de pH del sistema suelo-agua. El pH es la medida de la concentración de iones de hidrógeno $[H^+]$. Según este valor, un suelo puede ser ácido, neutro o alcalino. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo están influenciadas por la acidez o basicidad del medio, que a su vez condicionan el uso agronómico del suelo. Así, la mayoría de las plantas prefieren rangos de pH de 5,5 a 7,5, pero algunas especies prefieren suelos ácidos o alcalinos. Sin embargo, cada planta necesita un rango específico de pH, en el que poder expresar mejor su potencialidad de crecimiento Tisdale, (1991).

Efectos del pH

De acuerdo a Porta et al., (2003), entre los efectos del pH están los procesos de humificación. En función del pH se producen distintos tipos de materia orgánica del suelo y propiedades que influyen directamente sobre el crecimiento vegetal como el movimiento y disponibilidad de los nutrientes o los procesos de intercambio catiónico. Por su parte Tisdale (1991) refiere que el pH influye sobre la movilidad de los diferentes elementos del suelo: en unos casos disminuirá la solubilidad, con lo que las plantas no podrán absorberlos; en otros el aumento de la solubilidad debida al pH, hará que para determinados elementos sea máxima (por ejemplo, cuando hay mucha acidez se solubiliza enormemente el aluminio pudiendo alcanzarse niveles tóxicos).

El pH de los suelos afecta la reactividad de los componentes del suelo con el ortofosfato y establece la presencia y abundancia relativa de los cationes que pueden precipitar con el P Sims y Pierzynski, (2005). En condiciones neutras a alcalinas los minerales secundarios principalmente formados son los fosfatos de calcio. Con el aumento del pH los fosfatos de calcio disminuyen, alcanzado la mayor concentración de P en la solución del suelo a pH entre 6 – 6.5 Havlin et al., (1999).

Cada planta necesita elementos en diferentes cantidades y esta es la razón por la que cada planta requiere un rango particular de pH para optimizar su crecimiento.

Por ejemplo, el hierro, el cobre y el manganeso no son solubles en un medio alcalino. El nitrógeno, el fósforo, el potasio y el azufre, por otro lado, están disponibles en un rango de pH cercano a la neutralidad.

Esta propiedad influye también en la capacidad de los suelos para el almacenaje, filtraje y descomposición de compuestos químicos tóxicos o potencialmente tóxicos para plantas, animales y el hombre.

2.2 SUELOS ALCALINOS

La química de los suelos alcalinos está determinada por los carbonatos de calcio (CaCO_3) del suelo. Cuando los contenidos de carbonatos de calcio son mayores de 2-3 % por peso, el pH generalmente se encuentra entre los rangos de 7.6 a 8.3. Estos suelos básicos se encuentran generalmente en zonas con niveles más bajos de lluvia, donde la precipitación es inferior a 15° mm por año en las zonas donde puede haber una alta concentración de arcilla en el suelo. Los suelos calcáreos tienen el 100% de saturación de bases, y el complejo de cambio está dominado por el calcio.

En los suelos alcalinos uno de los problemas es la baja disponibilidad de Fe. Estos suelos normalmente tienen mucho Fe, pero este Fe no está disponible para las plantas. La concentración de cationes libres en el suelo es prácticamente nula, el

Fe suele estar en forma de diferentes especies iónicas inorgánicas como $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, pero estas formas están en concentraciones bajas (10^{-10} M).

Uno de los síntomas más claros de este tipo de suelos es la clorosis férrica, una enfermedad de las plantas causadas por la deficiencia en este mineral y que se caracteriza por el amarillamiento de las hojas y la menor producción de la planta Havlin et al., (1999).

La fijación de P en suelos calcáreos; los sitios activos para la absorción de P en estos suelos se asume que son los iones de Ca^{+2} expuestos en la superficie de los cuales las posiciones coordinadas vacantes puede ser ocupadas con moléculas de agua, iones bicarbonatos o iones hidroxilos en una suspensión de suelos, los iones de fosfato pueden reemplazar estas moléculas o iones, el proceso de adsorción entonces de naturaleza química. En condiciones de sobresaturación la reacción de adsorción está seguida por la formación de un fosfato de calcio.

La solubilidad de la calcita es alta, esto implica puede ocurrir precipitación directa con pequeñas adiciones de P, porque el Ca^{+2} y el PO^4 están presentes en concentraciones razonablemente altas Havlin et al., (1999).

En cuanto a los microelementos:

- Hierro: las concentraciones de Fe son frecuentemente relacionadas con suelos calcáreos, factores como pH alto, exceso de fosfatos, bicarbonatos y

sales de calcio en el medio de crecimiento interfieren en la adsorción de Fe por las plantas.

- **Magnesio:** las deficiencias de Mn son raras en suelos calcáreos; pero si MnO_2 estuviera controlando la fase sólida de Mn, se esperarían deficiencias de este elemento en suelos neutros y alcalinos.
- **Zinc:** la solubilización del Zn es dependiente del pH y disminuye 100 veces por cada aumento en la unidad de pH.
- **Cobre:** precipita más fácilmente por el CO_3^{++} y OH^- pero la capacidad de acomplejarse en suelos alcalinos impide las deficiencias.

2.3 GESTIÓN DE LOS SUELOS BÁSICOS

Los niveles altos de pH en los suelos pueden depender de diferentes elementos, por lo que hay diversos métodos para su corrección. En suelos ricos en piedra caliza se recomienda añadir sustancias orgánicas estiércol, turba, hojas de pino, etc. También se considera la incorporación de materiales ácidos como el quelato de hierro, el sulfato de hierro, sulfato de aluminio y el azufre. En los suelos alcalino-salinos la alcalinidad se debe a la presencia de sales, en particular a una alta concentración de sodio. Porta et al., (2003).

Son varios los materiales que se pueden utilizar para reducir el pH del suelo alcalino. Acidificantes líquido del suelo, con el cual se puede aumentar la acidez temporal del suelo y al disminuir el pH del suelo resulta en una mayor

disponibilidad de micronutrientes en suelos con pH alto. Sulfato de hierro es una enmienda de acción rápida de los suelos útil para disminuir niveles elevados de pH. Los cambios en el nivel de pH suelen aparecer de 3 a 4 semanas.

Otra fuente es el azufre elemental que puede ser aplicado como una enmienda del suelo para disminuir el pH o acidificar los suelos. Debido al costo, la aplicación de azufre para acidificar los suelos es más práctica. Sin embargo la reacción de azufre en el suelo es lenta, y no se deben esperar cambios rápidos de pH del suelo. Es posible que unos pocos meses o más para cambiar el pH del suelo hasta el nivel deseado debido a que el proceso de oxidación de azufre (conversión del azufre elemental al sulfato) es el resultado de la actividad microbiana.

Azufre elemental, es una sustancia natural que tiene la característica de reaccionar lentamente con el suelo. En tal sentido debe ser aplicado al suelo con cierto tiempo de anticipación a la siembra y deberá ser trabajado a cierta profundidad, siendo recomendable aproximadamente a 15 cm de profundidad, Fenn et al., (1990). El azufre elemental presenta un funcionamiento en el sistema suelo-cultivo bastante diferente a las fuentes sulfatadas solubles, incidiendo marcadamente en su manejo tecnológico.

Fassbender y Bomemisza, (1987) indican 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, forma el ácido sulfúrico. El efecto acidificante de la

oxidación del azufre baja el pH del suelo. En suelos alcalinos esta reacción es conveniente, pero en suelos neutros o ácidos es necesario compensar este efecto acidificante por la aplicación apropiada de cal.

Según Villagarcía, (1999), en uno de sus trabajos de investigación realizada en fertilidad y manejo de suelos y nutrición mineral de azufre en la región andina, concluye que los mejores resultados de fertilización en dicha región es fortalecida por la incorporación adicional de flor de azufre, en comparación de los sistemas de fertilización tradicional, obteniendo mayor peso seco con dicho tratamiento con flor de azufre.

En condiciones favorables para el crecimiento de las plantas, la velocidad de oxidación a ácido sulfúrico depende principalmente del grado de contacto entre el azufre y el suelo, cuando el azufre está finamente dividida y bien mezclada con el suelo, la reacción es bastante rápida.

Villagarcía, (1994), refiere el uso de azufre como enmienda para suelos alcalinos salinos e indica que el aporte de 2-3 t.ha⁻¹ permite su oxidación completa en 15 días. Según Tabatabai, (2005) cuando se aplica azufre elemental a suelos con aireación y humedad, ésta es atacada por los microorganismos del suelo que los transforman en ácido sulfúrico; este a su vez sufre el ion sulfato que absorbe las plantas. Sin embargo; con los beneficios que implica su uso esta fuente se utiliza poco como abono. La explicación descansa probablemente en el hecho de que el

azufre en polvo fino, que se requiere para una oxidación rápida que lo deja disponible para las plantas, es un producto incómodo para manejar e incluso presenta un cierto riesgo de fuego y hasta de explosión, Bornemisza, (1990).

La oxidación del azufre elemental en el suelo sucede a través de procesos químicos y bioquímicos, con predominio de las reacciones microbianas, con influencia de varios factores, Tabatabai, (2005). La oxidación implica el pasaje de S^0 a SO_4^{2-} a través de una reacción fuertemente ácida, con liberación de ácido sulfúrico. Esta es la reacción que se aprovecha cuando se utiliza azufre elemental en corrección de la alcalinidad de los suelos. Los grupos de organismos que participan en la oxidación son: (1) quimiautotróficos (bacterias del género *Thiobacillus*), (2) fotoautotróficos y (3) heterótrofos (un amplio espectro de bacterias y hongos). Los primeros dos grupos son los responsables de la reducción de compuestos reducidos de S en suelos bien drenados. La oxidación del azufre elemental es la resultante de la interacción de varios factores relacionados con el ambiente edáfico y también del tipo de fuente de azufre elemental utilizada. Horowitz y Meurer, (2005)

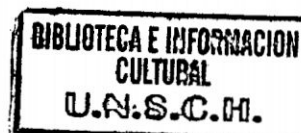
Las reacciones más comunes en la oxidación del azufre elemental, se pueden resumir en:

a) Respiración anaeróbica

De acuerdo a Carrillo (2003) 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.

b) 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*, *Desulfatmaculum*. 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 (Stevenson, 1986). 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, Stevenson, (1986).



c) Sulfooxidación

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 CO₂ como *T. thiooxidans*, *T. denitrificans*, Dommergues y Mangenot (1970). 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. 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 anaeróticamente pero no lleva a cabo una reducción asimilatoria y necesita la presencia de sales de amonio en el medio, Alexander (1980). 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 Dommergues y Mangenot, (1986).

En resumen el tiempo de reacción de flor de azufre en el suelo, es dependiente de las características de este último así podríamos mencionar que influyen la cantidad y tipo de arcilla (textura), el contenido de materia orgánica, la presencia de carbonatos de calcio y de sodio y las condiciones climáticas del medio. El cuadro 2.1, muestra las dosis de flor de azufre para obtener diferentes valores de pH, de acuerdo a la textura del suelo, Sierra et al., (2007).

Cuadro 2.1. Libras de azufre elemental necesario para bajar el pH del suelo hasta niveles de 4.5 (libras/100 pies²)

| Tipo de suelo | | |
|----------------------|--|------------------------------|
| pH del suelo | Arena, arena arcillosa, arcilla arenosa | Franco, franco limoso |
| 7.0 | 1,9 libras. | 5,8 libras. |
| 6.5 | 1,5 libras. | 4,6 libras. |
| 6.0 | 1,2 libras. | 3,5 libras. |
| 5.5 | 0,8 libras. | 2,4 libras. |
| 5.0 | 0.4 lbs. | 1,2 libras. |

2.4 EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EN EL SUELO

Independiente de los organismos encargados de oxidar al azufre elemental en el suelos la importancia de los microorganismos en ambientes naturales deriva de su cantidad, diversidad y, sobre todo, de su gran espectro de actividades que, en la mayoría de los casos, repercuten en los seres superiores con los cuales comparte un determinado hábitat. Concretamente en el suelo, los microorganismos desarrollan una amplia gama de acciones que inciden en el desarrollo y nutrición vegetal. Sin embargo, el nivel de actividad de las poblaciones microbianas de diversos suelos es muy bajo, salvo en el microhábitat donde haya una suficiente cantidad de fuente de carbono metabolizable (C-lábil). Cuando se introducen plantas en el sistema, la situación de los microbios cambia

drásticamente, ya que las plantas son las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo, de los que los microorganismos se aprovechan cuando se encuentran en la zona próxima a la raíz y proliferan en ella, Barea, (1998).

Los cambios de pH en la rizósfera también afectan a las poblaciones microbianas, en algunas ocasiones basta con inducir cambios en la acidez del medio a través del manejo mecánico, químico, físico o el uso de la tierra para favorecer algunos grupos microbianos, que pueden resultar benéfico o dañino a la plantación.

Existen una gama de compuestos que inducen cambios de pH en la raíz, entre ellos los agroquímicos utilizados comúnmente en una finca agrícola, además de compuestos químicos naturales como los ácidos orgánicos que forman parte del Ciclo de Krebs, tales son el ácido cítrico, ácido acético y málico, Alexander (1980). En resumen, los compuestos químicos que exudan las raíces modifican las poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos y provocan cambios en los protozoos y algas. Los estudios cualitativos revelan cierto efecto selectivo en el sistema radical, al encontrarse una estimulación preferencial sobre los microorganismos Gram negativos, no esporulados. Los géneros frecuentemente encontrados son *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Mycobacterium* etc. Iftikhar, (2010).

2.5 EL FÓSFORO

El fósforo es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas. Es absorbido por éstas en forma de fosfatos mono y diácidos. A diferencia del nitrógeno y del azufre, que son otros elementos que se absorben en forma aniónica, el fósforo es un elemento poco móvil. Por su tendencia a reaccionar dando formas fosforadas no disponibles para las plantas es que debe ser considerado uno de los elementos más críticos, Khasawneh, (1980).

Aunque las plantas lo contienen en menor cantidad que el nitrógeno, potasio, y calcio, tiene como factor limitante más importancia que el calcio y quizás más que el potasio. Es un elemento que da calidad y precocidad a las plantas, ya que adelanta la maduración, a diferencia del nitrógeno, que tiende a prolongar el crecimiento vegetativo. Cumple un rol plástico, porque se encuentra en toda la planta, y especialmente en los tejidos jóvenes y órganos de reserva. En los primeros interviene en la síntesis proteica y contribuye al desarrollo radicular. En los órganos de reserva (semillas y tubérculos) forma parte de fosfolípidos y ácidos nucleicos. También cumple un rol metabólico, ya que desempeña un papel indispensable como acumulador de energía y combustible para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes al formar parte del adenosíntrifosfato (ATP). Khasawneh, (1980).

2.5.1 Comportamiento del fósforo en el suelo.

El fósforo en el suelo, funcionalmente se presenta como tres fracciones. La fracción en solución, la cual es inmediatamente disponible para la absorción de las plantas y resultante del equilibrio entre, los distintos componentes y mecanismos que dominan la fracción lábil. La fracción lábil, la que representa la cantidad de P que puede pasar a la solución en una temporada de cultivo y la fracción no lábil que representa todos aquellos compuestos fosforados en el suelo que no salen a la solución del suelo durante la temporada del cultivo.

Tres mecanismos de reacción del P en el suelo dominarían los componentes de las fracciones lábiles y no lábiles: el mecanismo de adsorción-desorción a través de las reacciones del fosfato con las arcillas del suelo, el mecanismo de precipitación -disolución en la formación de compuestos fosforados en el suelo, dependiente del pH del suelo y de la concentración de iones en la solución del suelo, y el tercer mecanismo es el de mineralización - inmovilización del P ligado a la materia orgánica del suelo. De esta forma, las fracciones lábiles y no lábiles estarían constituidas por P que ha reaccionado en el suelo a través de estos mecanismos y que constituyen los componentes de P adsorbido, P precipitado y P orgánico, tanto en fracciones lábiles como no lábiles.

Además, se supone que el contenido de P en la solución resulta de un equilibrio rápido entre la cantidad de P presente en la fracción lábil y los mecanismos que determinan la labilidad del P. Es decir, para que exista P en solución es necesaria

una cierta cantidad de P en la fracción lábil, que variaría de acuerdo a la intensidad con que los mecanismos de reacción actúan en el suelo. Undurraga, (2002).

2.5.2 Factores que influyen en la disponibilidad del fósforo

El contenido de fósforo disponible en el suelo es una variable dinámica, fuertemente influenciada por las propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales.

Cualquier cambio en las propiedades del suelo se encuentra relacionada con la concentración de fósforo en solución (intensidad); la magnitud del fósforo de la fase sólida del suelo susceptible de pasar a la solución o fósforo lábil (cantidad); la capacidad del suelo de restablecer el fósforo de la solución (capacidad o poder tampón del fósforo) y las características del suelo que permiten el paso de iones fosfato desde las zonas de alta concentración a la superficie de las raíces (difusión), explican los cambios producidos en la cantidad de fósforo disponible.

Las plantas influyen la disponibilidad de fósforo. Los vegetales poseen sistemas radicales característicos de cada especie, diferenciándose por la longitud y densidad de los pelos radiculares, así como a la morfología de su sistema radicular, la capacidad individual de remoción, las condiciones ambientales, la densidad, las asociaciones con hongos, etc.

2.5.3 Otros factores que afectan la disponibilidad de fósforo

Existen factores que afectan la disponibilidad de Fósforo relacionados al suelo, que pueden ser numerosos y se consideran de tipo ambientales, que modifican la disponibilidad del fósforo. Entre éstos, los más importantes son:

- a) **Acidez del suelo:** el óptimo rango de pH del suelo dentro del cual se observa la máxima disponibilidad de fósforo se encuentra entre 6,5 y 7,5. Las causas de este comportamiento se asocian fundamentalmente a que en este rango ocurre la máxima solubilidad de las formas de fósforo inorgánico del suelo. Así, en rangos de pH ácido hasta 6,5, se reduce la solubilidad de fosfatos de hierro y aluminio y aumenta la solubilidad de las formas ligadas al calcio. Pasado cierto nivel de pH alcalino (sobre 7,5) comienza a precipitar ciertas formas de fosfatos de calcio y nuevamente se reduce la disponibilidad del fósforo.

- b) **Contenido de Materia orgánica:** la materia orgánica del suelo, presenta predominantemente cargas negativas, por lo que los ácidos orgánicos forman con cationes hidroxilados tales como $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y $\text{Al}(\text{OH})_2$, combinaciones complejas que inmovilizan estos iones, dejando en libertad los iones fosfatos. Por esta razón, la agregación de estiércol y otros compuestos orgánicos favorecen la disponibilidad del fósforo de los suelos.

- c) **Relación Sílice/Sesquióxidos:** Según la naturaleza mineralógica de los suelos, éstos varían en su contenido de Silicio, Hierro y Aluminio. Los suelos que contienen una más baja relación Sílice (SiO_2); Sesquióxidos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$), están generalmente más intemperizados y por lo tanto contienen más hierro y aluminio libres que pueden inmovilizar a los fosfatos; en cambio, una más alta eficiencia en el uso de fertilizantes fosfóricos se logra con una alta relación sílice/sesquióxidos incrementando rápidamente el P-disponible. Esta relación, se puede afectar con el uso de la cal inmovilizando los sesquióxidos, lo que tiende a incrementar la disponibilidad del fósforo.
- d) **Relación con la humedad del suelo:** El aumento de agua en el suelo induce a un incremento de iones fosfato en solución, lo que ocurre después de las lluvias o por el efecto del riego. Esto está ligado a las características de las formas inorgánicas de fósforo presentes en el suelo (P-Ca, P-Fe y P-Al) cuya naturaleza cristalina relativamente insoluble, tiene en realidad variables constantes de productos de solubilidad. La cantidad de fósforo absorbido por especies desarrolladas en condiciones de secano, es menor en condiciones de sequía que en años lluviosos.
- e) **Fertilizantes fosfatados:** Uno de los mayores efectos sobre el incremento del P-disponible, se ha logrado con la adición de fertilizantes fosfatados. La aplicación de fósforo fertilizante al suelo origina una reacción rápida en la superficie de los minerales arcillosos, donde el fenómeno dominante es

la adsorción, luego una reacción lenta de difusión de fósforo predomina hacia el interior de las partículas, generándose la fijación.

Esta última etapa define qué cantidad de P agregado permanece en el pool lábil sobre las partículas del suelo y este valor estima la efectividad residual del fósforo lábil. Undurraga, (2002).

En general el fenómeno de la fijación, sorción o retención del P que comprenden procesos de adsorción, precipitación e inmovilización biológica. Hedley y McLaughlin, (2005). Se trata de procesos responsables de que las plantas usen solo 10-30% del fosforo aplicado al suelo como fertilizante durante la primera estación de crecimiento o ciclo agrícola, permaneciendo el resto como productos de reacción fertilizante-suelo y quedando potencialmente disponible para los próximos cultivos, declinando la respuesta a este fosfato residual en los años siguientes, Rubio y Álvarez, (2010).

El proceso de precipitación del P involucra reacciones más permanentes que el de adsorción, lo que genera compuestos fosfatados no disponibles para los cultivos en el corto/mediano plazo. El carbonato de calcio e hidróxido de hierro y aluminio juegan un rol clave en la fijación de P en los suelos, Sample et al., (1980). La fijación por adsorción es la que se produce sobre superficies coloidales (arcillas, hidróxidos de hierro y aluminio, carbonatos y materia orgánica) y la fijación por precipitación se produce por la formación de compuestos prácticamente insolubles (fosfatos de calcio, de hierro, de aluminio o manganeso), Fixen y Grove, (1990).

2.5.4 Capacidad tampón del fósforo

La capacidad buffer indica la capacidad que posee un suelo para resistir los cambios en la concentración de P en la solución al extraer o agregar P, Holford y Mattingly, (1979). En otras palabras, es la cantidad de P-fertilizante que es necesario agregar para elevar el Fósforo disponible en 1 mg/Kg o ppm de fosfato por Kg de fósforo aplicado. El CP es una característica química del suelo, que se refiere a la relación entre el P-disponible que éste es susceptible de mantener en equilibrio en la solución suelo por cada Kg de fósforo agregado como fertilizante soluble al agua, tal como el Superfosfato Triple.

Se ha observado que los suelos en general, muestran diferente efectividad inicial frente al fósforo aplicado como fertilizante, así los suelos de acuerdo a esta característica, pueden dividirse en reactivos y poco reactivos. En un suelo poco reactivo, una mayor proporción del fósforo aplicado permanece lábil y en un suelo de alta reactividad, se requiere agregar una mayor cantidad de fósforo para lograr el mismo contenido de P lábil, el que puede expresarse por ejemplo en ppm de P-Olsen por Kg de P-fertilizante aplicado. Undurraga, (2002).

2.6 EL NARANJO

2.6.1.- Origen e historia

Las especies comprendida en el género Citrus de la familia Rutáceas tuvo su centro de origen en los trópicos y subtrópicos del este de Asia y del

Archipiélago Indomalayo (China, Bután, Burma y Malasia), lugares en los cuales su cultivo comenzó hace miles de años Zaragoza, (1993).

El naranjo continuó su dispersión por el resto del mundo conforme avanzaban las conquistas o descubrimientos. El movimiento de dispersión de los diversos tipos de cítricos probablemente ocurrió dentro del área general de origen desde antes de que existiera registro histórico Agusti, (2000).

La dispersión de los cítricos desde sus lugares de origen se debió fundamentalmente a los grandes movimientos migratorios: conquistas de Alejandro Magno, expansión del Islam, cruzadas, descubrimiento de América, etc.

En el siglo XVI, desde España se trajo el naranjo al Perú, donde se inició su cultivo en el Valle del Rímac y valles más al norte. En los últimos años del presente siglo, la citricultura peruana alcanzó su mayor desarrollo a lo largo de la Costa y la Selva Central y en menor proporción en la sierra.

2.6.2 Taxonomía y morfología

Según el Boletín técnico del INIA, (1996), el naranjo tiene la siguiente clasificación:

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida
Orden : Sapindales
Familia : Rutaceae
Subfamilia : Citroideae
Tribu : Citreae
Género : Citrus
Especie : C. × aurantium"

Nombre binomial: Citrus × aurantium

Morfología

- ✓ **Porte:** Reducido (6-10 m). Ramas poco vigorosas (casi tocan el suelo). Tronco corto.
- ✓ **Hojas:** Limbo grande, alas pequeñas y espinas no muy acusadas.
- ✓ **Flores:** Ligeramente aromáticas, solas o agrupadas con o sin hojas. Los brotes con hojas (campaneros) son los que mayor cuajado y mejores frutos dan.
- ✓ **Fruto:** Hesperidio. Consta de: exocarpo (flavedo; presenta vesículas que contienen aceites esenciales), mesocarpo (albedo; pomposo y de color blanco) y endocarpo (pulpa; presenta tricomas con jugo). La variedad Navel presenta frutos supernumerarios (ombligo), que son pequeños frutos que aparecen dentro del fruto principal por una aberración genética.
- ✓ **La semilla:** Es de forma elipsoidal, en algunos casos aplanados, con un extremo terminado en un pico irregular. La testa es blanca, dura, surcada

longitudinalmente y debajo de ella queda una membrana fina que rodea al embrión o embriones Agusti, (2000).

2.6.3 Valor Nutricional

Valor nutricional de la naranja en 100 g de sustancia comestible

| | |
|------------------------|------|
| Agua (g) | 87.1 |
| Proteínas (g) | 1 |
| Lípidos (g) | 0.2 |
| Carbohidratos (g) | 12.2 |
| Calorías (kcal) | 49 |
| Vitamina A (U.I.) | 200 |
| Vitamina B1 (mg) | 0.1 |
| Vitamina B2 (mg) | 0.03 |
| Vitamina B6 (mg) | 0.03 |
| Ácido nicotínico (mg) | 0.2 |
| Ácido pantoténico (mg) | 0.2 |
| Vitamina C (mg) | 50 |
| Ácido cítrico (mg) | 980 |
| Ácido oxálico (mg) | 24 |
| Sodio (mg) | 0.3 |
| Potasio (mg) | 170 |
| Calcio (mg) | 41 |
| Magnesio (mg) | 10 |
| Manganeso (mg) | 0.02 |
| Hierro (mg) | 0.4 |
| Cobre (mg) | 0.07 |
| Fósforo (mg) | 23 |
| Azufre (mg) | 8 |
| Cloro (mg) | 4 |

Fuente: <http://www.infoagro.com>

2.6.4 Requerimientos edafoclimáticos

Según Soler y Bono (2010) el factor limitante más importante es la temperatura mínima, ya que no tolera las inferiores a -3°C . No tolera las heladas, ya que sufre tanto las flores y frutos como la vegetación, que pueden desaparecer totalmente. Presenta escasa resistencia al frío (a los $3-5^{\circ}\text{C}$ bajo cero la planta muere). No requiere horas-frío para la floración. No presenta reposo invernal, sino una parada del crecimiento por las bajas temperaturas (quiescencia), que provocan la inducción de ramas que florecen en primavera. Necesita temperaturas cálidas durante el verano para la correcta maduración de los frutos.

Requiere importantes precipitaciones (alrededor de 1.200 mm), que cuando no son cubiertas hay que recurrir al riego. Necesitan un medio ambiente húmedo tanto en el suelo como en la atmósfera. Es una especie ávida de luz para los procesos de floración y fructificación, que tienen lugar preferentemente en la parte exterior de la copa y faldas del árbol. Por tanto, la fructificación se produce en copa hueca, lo cual constituye un inconveniente a la hora de la poda. Es muy sensible al viento, sufriendo pérdidas de frutos en precosecha por transmisión de la vibración.

Necesitan suelos permeables y poco calizos y un medio ambiente húmedo tanto en el suelo como en la atmósfera. No toleran la salinidad y son sensibles a la asfixia radicular.

2.6.5 Variedades

De acuerdo al IVIA -Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias- (2012), la mayoría de las variedades han surgido como mutaciones estables. Estas mutaciones son muy frecuentes en cítricos y se estabilizan rápidamente.

Pueden considerarse 3 tipos:

Navel

Son de buena presencia, frutos partenocárpicos de gran tamaño, muy precoces. Destacan las variedades: Navelate, Navelina, Newhall, Washington Navel, Lane Late y Thompson. Se caracterizan por tener, en general, buen vigor.

Blancas

Destaca la Salustiana y Valencia Late (presenta frutos de buena calidad con una o muy pocas semillas y de buena conservación). Se caracterizan por ser árboles de gran vigor, frondosos, tamaño medio a grande y hábito de crecimiento abierto, aunque tienen tendencia a producir chupones verticales, muy vigorosos, en el interior de la copa.

Sanguinas

Variedades muy productivas, en las que la fructificación predomina sobre el desarrollo vegetativo. Son variedades con brotaciones cortas y los impedimentos en la circulación de la savia dan lugar al endurecimiento de ramas. Destaca la variedad Sanguinelli.

2.6.6 Manejo Agronómico

El manejo hace referencia a la variedad del patrón, y los controles fitosanitarios.

Entre las prácticas agronómicas tenemos:

Injerto

Injertar consiste en fijar un trozo vivo de una planta, provisto de una o más yemas, sobre otra distinta para que ambas partes se suelden y formen una unidad, Fundación de servicio para el agricultor. FUSAGRI, (1986).

Patrones:

De acuerdo a FUSAGRI, (1986, para que una especie de naranja sea escogida como patrón debe reunir entre otras, las siguientes características:

- ✓ Ser tolerante a condiciones desfavorables del suelo.
- ✓ Ser tolerante o resistente a plagas y enfermedades.
- ✓ Ejercer una influencia deseable en el desarrollo del árbol.
- ✓ Ser precoz en el semillero y vivero.
- ✓ Ser altamente poliembriónica.
- ✓ Tener muchas semillas por fruto.
- ✓ Ser compatible con la copa.
- ✓ Ser de fácil manejo en el vivero.

Semillero y Vivero

Los semilleros deben aislarse del resto del vivero o de la plantación para evitar cualquier contaminación. Se recomienda su instalación en suelos sueltos, de buena

constitución física, bien drenados y con facilidad de riego. Una vez las plantas hayan alcanzado 20 – 30 cm las seleccionadas se trasladan al vivero. En algunos casos se ha utilizado el vivero hecho directamente en el suelo, pero últimamente se prefiere el transplante a bolsas de polietileno negro FUSAGRI, (1986).

Diseño de la plantación

La distancia entre plantas está en función de las dimensiones de la maquinaria a utilizar y del tamaño de la copa adulta, que depende principalmente del clima, suelo y el patrón, por lo que, en la mayoría de los casos, habrá que comparar con situaciones ecológicas semejantes con el fin de tomarlas como referencia. Se puede estimar como densidad media de plantación unos 400 árboles/ha.

Abonado o Fertilización

Según Avilan (1988) el cultivo de naranja demanda mucho abono (macro y micronutrientes), lo que supone gran parte de los costes, ya que frecuentemente sufre deficiencias, destacando la carencia de magnesio, que está muy relacionada con el exceso de potasio y calcio y que se soluciona con aplicaciones foliares. Otra carencia frecuente es la de zinc, que se soluciona aplicando sulfato de zinc al 1%. El déficit en hierro está ligado a los suelos calizos, con aplicación de quelatos que suponen una solución escasa y un coste considerable.

Riego

Las necesidades hídricas de este cultivo oscilan entre 6000 y 7000 m³/ha. En parcelas pequeñas se aplicaba el riego por inundación, aunque hoy día la tendencia es a emplear el riego localizado y el riego por aspersión, una alternativa es el riego por goteo enterrado, cuyos objetivos son optimizar el riego y mejorar la eficiencia de la fertilización nitrogenada, dando lugar a una disminución potencial de la contaminación. Avilan, (1988).

Poda

Tiene como finalidad regular el crecimiento de la planta en función de la producción y conseguir un equilibrio fisiológico que permita un crecimiento controlado de la parte vegetativa, así como una producción uniforme y abundante de frutos.

Plagas

Entre las plagas más comunes, se pueden resumir la presencia de bachacos, las hormigas, los áfidos negros, amarillos, las cochinillas y pulgones.

Enfermedades

Según Duran y Moreno (2000) entre las enfermedades más comunes del naranjo se encuentran el nematodo de los cítricos, la gomosis y los Virus de la tristeza de los cítricos o *citrus tristeza virus* (CTV).

Recolección

Tiene lugar cuando la relación de sólidos solubles/acidez es de 8 o más y el color amarillo-naranja en al menos el 25% de la superficie del fruto, o una relación de sólidos solubles/acidez de 10 o más y el color verde-amarillo en al menos 25% de la superficie del fruto.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El trabajo de investigación se desarrolló en el predio del Productor Mario Pérez, ubicado en el distrito de San Miguel de Mayocc, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica. Sus coordenadas y altitud se detallan a continuación.

Altitud : 2450 msnm.

Latitud : 12° 46' 60S

Longitud : 74° 24' 0W

3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL MEDIO

El distrito de San Miguel de Mayocc en promedio posee temperaturas máxima, media y mínima anual de 21, 13.5 y 5°C respectivamente; con precipitación anual de 450.40 mm distribuida irregularmente, durante los meses de noviembre a marzo.

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Los suelos del área de investigación se caracterizan por ser fisiográficamente de terraza alta de origen coluvial, resalta por su carácter fuertemente alcalino y una baja disponibilidad de fósforo, junto a la mayoría de micronutrientes. Los resultados del análisis de caracterización se muestran en el cuadro 3.1.

3.4 PLANTA INDICADORA

Se empleó como planta indicadora, plantas de naranjo (*Citrus sinensis*) de la variedad Washington Navel de 5 años de edad. Las plantas están dispuestas a distancias de 4 x 4 metros entre filas e hileras.

Cuadro 3.1 Análisis de caracterización del suelo.

| Característica | Muestra | Interpretación |
|----------------------------------|---------|------------------------|
| pH | 8.89 | Fuertemente alcalino |
| CE (dS.m ⁻¹) | 0.18 | Bajo |
| MO (%) | 1.63 | Bajo |
| P ppm | 7.91 | Bajo |
| K ppm | 173.00 | Medio |
| CIC cmol(+).kg ⁻¹ | 17.52 | Medio |
| Ca ⁺⁺ meq/100g | 10.80 | |
| Mg ⁺⁺ meq/100g | 4.92 | |
| K ⁺ meq/100g | 0.61 | |
| Na ⁺ meq/100g | 1.19 | |
| CO ₃ ⁼ (%) | 6.22 | Alto |
| Arena % | 58 | |
| Limo % | 21 | |
| Arcilla | 21 | |
| Clase textural | | Franco arcillo arenoso |

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, aguas, plantas y fertilizantes. AGROLAB

3.5 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL ESTIÉRCOL

Las características químicas del estiércol de cuyo empleo en el experimento se muestran en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Características del estiércol de cuy

| Determinación | Contenido |
|-----------------------------------|------------------|
| pH | 8,86 |
| CE (dS.m ⁻¹) | 11.27 |
| MO (%) | 44.82 |
| N (%) | 2.52 |
| P ₂ O ₅ (%) | 3.14 |
| K ₂ O (%) | 4.15 |
| CaO (%) | 6.34 |
| MgO (%) | 2.6 |
| S (%) | 0.37 |
| Na (%) | 0.48 |
| Cu (ppm) | 42 |
| Zn (ppm) | 186 |
| Mn (ppm) | 379 |
| Fe (ppm) | 10 120 |
| Humedad (%) | 14.70 |

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, aguas, plantas y fertilizantes. AGROLAB

3.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA DE RIEGO

Las características físico químicas del agua empleada para riego, se muestran en el cuadro 3.3

Cuadro 3.3 Características físico químicas del agua de riego

| N° Laboratorio | A0089 |
|----------------------------------|----------------|
| N° Campo | Acequia Mayocc |
| pH | 8.49 |
| C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 930.00 |
| Cationes (meq/l) | |
| Calcio | 6.30 |
| Magnesio | 3.17 |
| Potasio | 0.11 |
| Sodio | 1.83 |
| SUMA DE CATIONES | 11.41 |
| Aniones (meq/l) | |
| Nitratos | 0.00 |
| Carbonatos | 0.12 |
| Bicarbonatos | 1.84 |
| Sulfatos | 8.47 |
| Cloruros | 1.41 |
| SUMA DE ANIONES | 11.84 |
| Na (%) | 16.03 |
| RAS | 0.84 |
| Sales Solubles Totales (ppm) | 595.20 |
| Clasificación | C3-S1* |

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, aguas, plantas y fertilizantes. AGROLAB

3.7 DISEÑO METODOLÓGICO

Los seis tratamientos fueron dispuestos en el Diseño Completamente Randomizado, con 3 repeticiones, haciendo un total de 18 unidades experimentales, cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$\text{M.A.L: } Y_{ij} = u + A_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = pH, P disponible (en suelo) y Rendimiento de naranja.

A_i = Efecto del factor niveles de flor de azufre

e_{ij} = Efecto del error.

3.8 TRATAMIENTOS

En el cuadro N° 3.4 se muestra la descripción de tratamientos correspondientes al estudio de 4 niveles de flor de azufre ($N_0 = 0.0 \text{ t.ha}^{-1}$, $N_1 = 1.0 \text{ t.ha}^{-1}$, $N_2 = 1.5 \text{ t.ha}^{-1}$, $N_3 = 2.0 \text{ t.ha}^{-1}$) junto a una dosis común de estiércol (12.5 t.ha^{-1}), así como dos adicionales (sólo estiércol y sólo azufre en la dosis alta). La distribución de los tratamientos en campo se observa en el cuadro N° 3.5.

Cuadro N° 3.4 Tratamientos y descripción

| Tratamientos | Azufre (t.ha^{-1}) | Azufre (Kg/planta) | Estiércol (Kg/planta) |
|--------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| T0 | 0.0 | 0.0 | 00 |
| T1 | 1.0 | 1.6 | 20 |
| T2 | 1.5 | 2.4 | 20 |
| T3 | 2.0 | 3.2 | 20 |
| T4 | 0.0 | 0.0 | 20 |
| T5 | 2.0 | 3.2 | 00 |

Cuadro N° 3.5 Distribución de los tratamientos en el campo

| | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| T ₄₂ | T ₀₁ | T ₃₂ |
| T ₁₁ | T ₃ | T ₄₁ |
| T ₅₃ | T ₃₁ | T ₁₃ |
| T ₀₃ | T ₁₂ | T ₂₃ |
| T ₄₃ | T ₂₁ | T ₅₂ |
| T ₀₃ | I ₅₁ | T ₂₂ |

3.9 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

3.9.1 Recolección de suelo para análisis inicial:

En el campo experimental se recolectó una muestra de suelo representativo, correspondiente a la capa arable de aproximadamente 30 cm de profundidad. La misma que fue enviada al laboratorio para el análisis correspondiente.

3.9.2 Recolección de muestra de agua para análisis:

La muestra de agua, se recolectó del canal principal de ingreso al campo de cultivo, la misma que fue enviada al laboratorio para el análisis correspondiente.

3.9.3 Aplicación de flor de azufre y estiércol:

La aplicación de flor de azufre se realizó junto con el estiércol el 09 de diciembre del 2011. Habiéndose aplicado alrededor de la planta y al fondo primero el estiércol y luego la flor de azufre a una profundidad y ancho de surco aproximado de 20 y 30 cm respectivamente.

3.9.4 Abonamiento:

El abonamiento de las plantas de naranjo se produjo un 21-01-2012, antes de la floración completa (la misma que fue inusual, lo normal es que se produzca en mayo). Se aplicó nitrógeno como nitrato de amonio 84 g/planta hasta en tres oportunidades, todo el fósforo (150 g/planta de fosfato diamónico), potasio (150 gr/planta de sulfato de potasio) y magnesio (100 g/planta de sulfomag). Cabe mencionar que también se aplicó micro elementos (Fetrilon combi) vía foliar (200g/ha). Los abonos fueron aplicados también alrededor de la planta, sobre la aplicación anterior.

3.9.5 Control de maleza:

Ante la presencia de malezas de hoja delgada, principalmente gramíneas (*Pennisetum claudenstinum*) Kikuyo, se realizó de manera manual.

3.9.6 Riego y control fitosanitario:

Los riegos fueron en función a la necesidad del cultivo y considerando alcanzar la capacidad de campo. El control fitosanitario fue orientado al control de la fumagina y se realizó solamente con limpieza con agua y detergente a presión.

3.9.7 Periodo de evaluación:

La evaluación de las características del suelo (pH y fósforo disponible) fue realizada en cinco oportunidades durante todo el periodo vegetativo del cultivo, hasta después de la cosecha inclusive, durante catorce meses. En cuanto al rendimiento de naranja; se realizó durante tres periodos, es decir noviembre, diciembre y enero 2013.

3.9.8 Recolección de muestras de suelo para evaluación :

Las muestras de suelos para evaluar el pH y P disponible en cada periodo, fueron obtenidas de varios puntos al azar, únicamente de la zona de aplicación de enmiendas (alrededor y en proyección a la copa del árbol).

3.10 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN:

3.10.1 Parámetros químicos del suelo. Se determinó el pH del suelo (1:25 en agua) y el fósforo disponible (Olsen modificado)

3.10.2 Evaluación del cultivo. Se determinó el rendimiento de naranjas (Kg./árbol), que se obtuvo pesando las naranjas recibidas en cada una de las jabas. Se evaluó el número de frutos por árbol, diámetro de frutos y grosor de piel.

3.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con los resultados de las variables evaluadas, se realizaron los análisis de variancia y pruebas de significación de Tukey, así como análisis de tendencia en el tiempo. Calzada, (1982).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

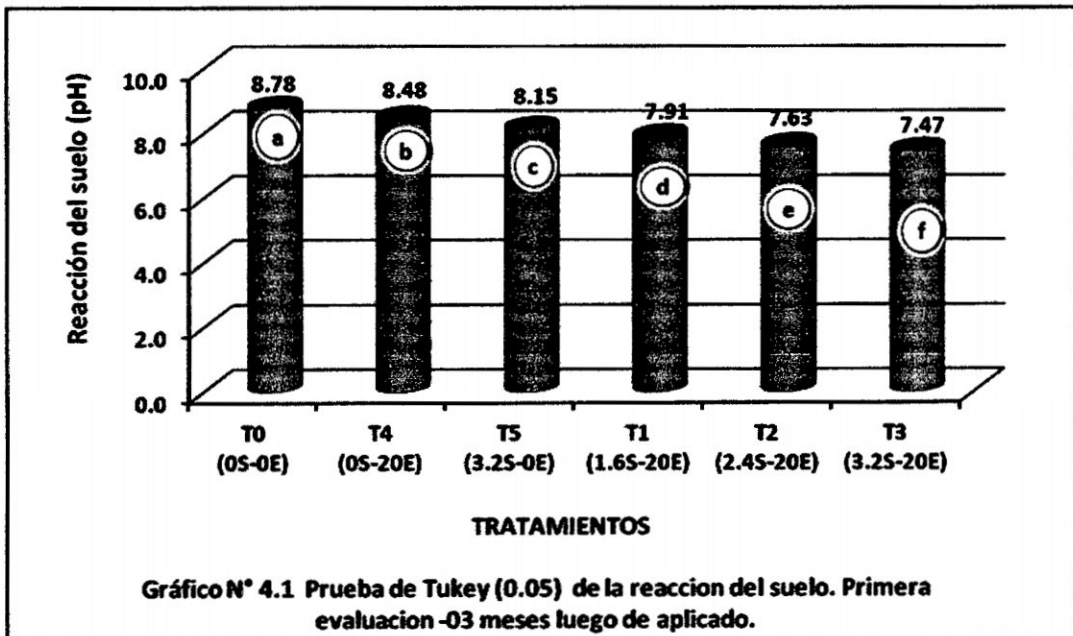
4.1 DE LA REACCIÓN DEL SUELO

En el análisis de varianza de la reacción del suelo o pH, que se muestran en los cuadros 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 que corresponden a los análisis en cinco fechas de evaluación, muestran diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados y con coeficientes de variabilidad fluctuantes entre 1.08 a 1.73%, valores que se encuentran dentro del margen de error aceptable, para condiciones controladas como en el laboratorio Calzada (1982).

Cuadro N° 4.1 Análisis de varianza del pH del suelo por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino con cultivo de naranjo. Primera evaluación (03-03-2012).

| FV | GL | SC | CM | Fc |
|--------------|----|-------------|------------|---------|
| Tratamientos | 5 | 3.803977778 | 0.76079556 | 99.66** |
| Error | 12 | 0.0916 | 0.00763333 | |
| Total | 17 | 3.895577778 | | |

CV= 1.08%



En los gráficos (4.1, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6) de las pruebas de Tukey (0.05) que corresponden correlativamente a cada uno de los análisis de varianza anteriores, podemos apreciar que en el tratamiento testigo también disminuye el pH respecto del análisis inicial (pH 8.89) se observa que la reacción va disminuyendo a

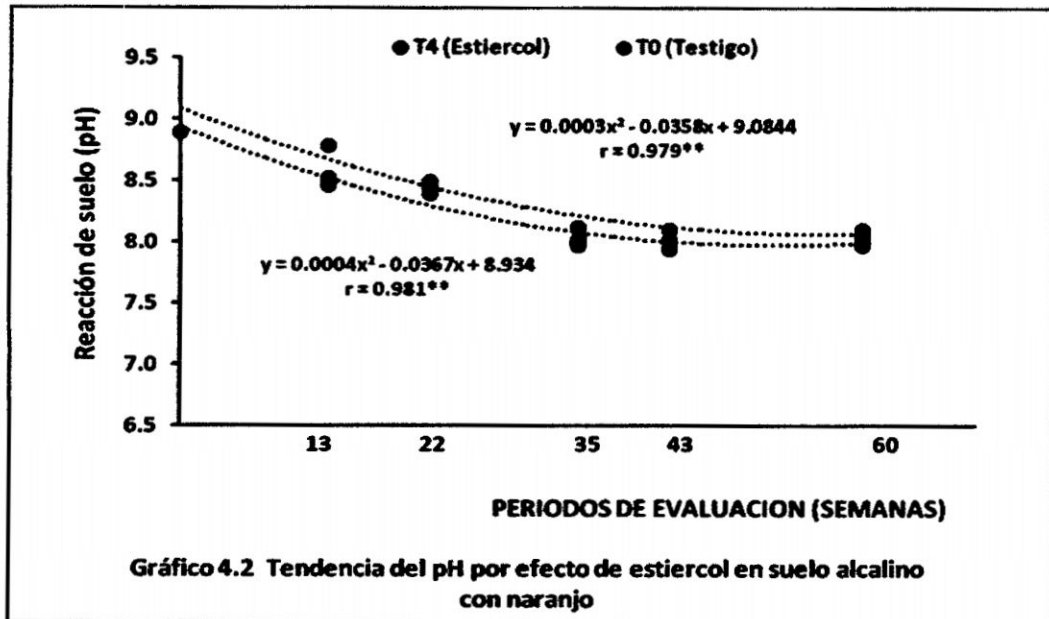
medida que pasa el tiempo, sin embargo tal disminución no es rápida sino lenta y progresiva, de tal manera que a los tres meses de evaluado, en la etapa de plena floración de la plantación de naranjo, el pH disminuyó hasta 8.78, posteriormente a cinco meses el pH fue de 8.49, hasta un pH de 8.09 al cabo de catorce meses de evaluación (Gráfico 4.2). El monitoreo realizado fue en la zona de raíces, donde existe una intensa actividad de las mismas, pues durante la absorción de nutrientes se producen una serie de reacciones induciendo al cambio de pH del suelo. Los cambios producidos sobre la reacción confirman que las raíces -máxime cuando son abundantes, como sucede con las raíces en el aro circundante de los arboles- poseen un efecto en la disminución de pH del suelo. Se estima que afectan a aproximadamente 1 mm circundante a la raíz, por ello considerando el volumen y cantidad de raíces; el efecto es apreciable, al respecto Jones (1999) refiere que ante un excesivo uso de cationes en las raíces se genera un desequilibrio catión/anión, por lo tanto la carga negativa necesaria para equilibrar esto puede ser proporcionado por ácidos orgánicos disminuyendo así el pH. Según Hauter y Steffens (1985) la absorción de amonio por las plantas afecta críticamente la disminución del pH del suelo. Así, cuando la planta incorpora el amonio (NH_4^+), este libera un protón (H) a la solución del suelo. Aumenta la concentración de protones alrededor de las raíces, disminuye el pH alrededor de las raíces y de este modo aumenta la disponibilidad del fósforo y hierro Taiz y Zeiger (1998). Estos resultados apoyan otros estudios que muestran una disminución en el pH del suelo en entornos del cultivo. Por ejemplo, Xu et al (2002) encontró una tasa de acidificación de $1,26 \text{ kmol H}^+/\text{ha/año}$ para la rotación de los cultivos de trigo-soja y $1,36 \text{ kmol H}^+/\text{ha/año}$ para las rotaciones trigo-lupino. Del mismo modo, Yan et

al (1996) encontró que ocho leguminosas plantadas en 5 kg de suelo liberaron 32,7 mmol de H^+ , disminuyendo el pH del suelo en 0.4 unidades de pH en 45 días. No obstante el efecto de las raíces en el pH del suelo puede ser muy variable. La composición de exudados de la raíz no sólo es dependiente de las especies de plantas, sino del entorno físico-químico con factores tales como el estrés de nutrientes como lo es en el caso del fósforo. Al respecto Bates y Lynch (2000) indican que los pelos radiculares son una estructura de la raíz bastante comunes, y el aumento de longitud de raíz-pelo así como el número se considera una adaptación que mejora la adquisición de Pi y la ventaja competitiva de una planta cuando Pi suelo es limitante para el crecimiento. Por su parte Keerthisinghe et al, (1998) refieren que los carboxilatos (por ejemplo, citrato, malato) puede ser los principales componentes de los exudados liberados por las raíces, especialmente bajo la deficiencia de P. Los carboxilatos movilizan tanto P inorgánico y P orgánico, debido a que los cationes metálicos complejos que se unen al fosfato desplazan de la matriz del suelo por intercambio de ligandos, Hayes et al, (2000).

Cuadro N° 4.2 Análisis de varianza del pH del suelo por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino con cultivo de naranjo. Segunda evaluación (19-05-2012).

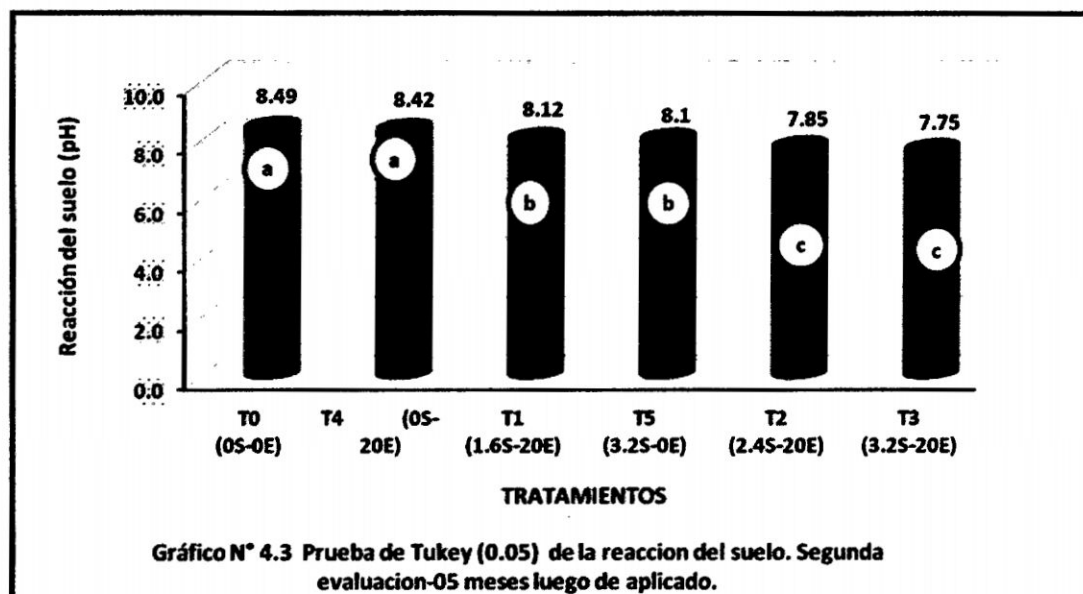
| FV | GL | SC | CM | Fc |
|--------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| Tratamientos | 5 | 1.315383333 | 0.26307667 | 25.08** |
| Error | 12 | 0.125866667 | 0.01048889 | |
| Total | 17 | 1.44125 | | |

CV= 1.26%



Con la incorporación de estiércol a la planta, como sucede en el tratamiento T4 (Solo estiércol de cuy) probablemente se impulse más la actividad de las raíces, por los componentes nutritivos y crecimiento en general e influyendo sobre los microorganismos, debido a la excreción radical y por constituir fuente de energía para los organismos, tal afirmación se realiza en vista de que el pH del suelo originalmente de 8.89 disminuye rápidamente a 8.48 (a 3 meses) diferenciándose de este modo al tratamiento que no recibió nada (Tratamiento T0), que para el mismo periodo se obtuvo un valor de 8.78, este mayor grado en la disminución del pH, tal como se puede apreciar en los gráficos del 4.1 de la prueba de Tukey y grafico 4.2, se puede atribuir a la intensa actividad radical y microbial que se produce en el suelo. De acuerdo a Gadd (1999) los hongos y bacterias son productores de ácidos orgánicos tales como ácido oxálico y ácido cítrico, según Arviu et al (2003) la presencia de CaCO_3 y NaHCO_3 en suelos alcalinos aumenta la producción de oxalato por hongos y muchas especies pueden exhibir un

aumento de flujo de salida de protones en presencia de CaCO_3 , lo que induce a la disminución de pH; por su parte Casarin et al (2003) encontró que la especie de hongos *R. roseolus* acidifica fuertemente la rizosfera, liberando iones oxalato y protones simultáneamente, no obstante el grado de eflujo de protones fue altamente dependiente de la especie. Posteriormente a partir de los cinco meses de evaluación hasta los catorce meses en el que se obtuvo un pH de 8.02, ambos tratamientos con y sin estiércol resultan estadísticamente iguales (Gráficos 4.3 – 4.6).



La incorporación de flor de azufre en sus diferentes niveles permitió la mayor disminución del pH del suelo, comparativamente a los otros tratamientos. Así a los tres meses de incorporada las enmiendas podemos apreciar una mayor disminución del pH, siendo más bajo con la aplicación de 3.2 Kg de flor de azufre junto a 20 Kg de estiércol (tratamiento T3) diferenciándose de aquellos que

recibieron menor dosis de flor de azufre (T1 con 1.2 Kg y T2 con 2.4 Kg de flor de azufre junto a 20 Kg de estiércol), así como de aquel que recibió tan solo 3.2 Kg de flor de azufre (T5), lo que permite afirmar que para que se produzca la oxidación de flor de azufre debe existir un conjunto de microorganismos especializados, que en este caso que fueron aportados en el estiércol.

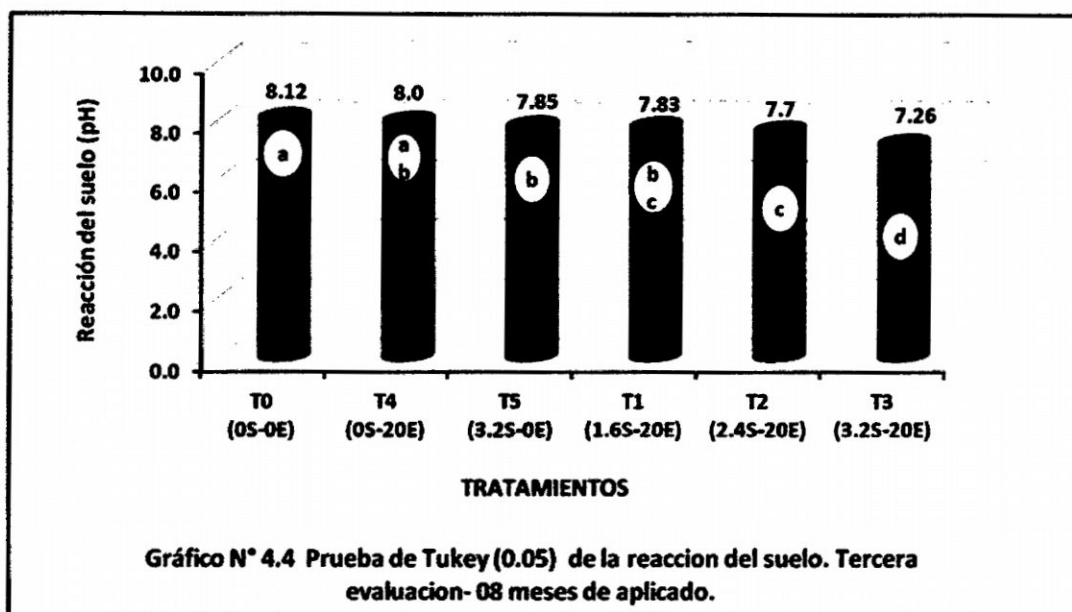
De acuerdo a Mullen et al, (2007) la reacción de azufre en el suelo es lenta, siendo desde unos pocos meses o más para cambiar el pH del mismo hasta un nivel deseado, debido a que el proceso de oxidación de azufre (conversión del azufre elemental al sulfato) es el resultado de la actividad microbiana. Según la FAO (2007), el principio básico del uso del azufre elemental es que la población nativa o inoculada de las bacterias del suelo, oxide el azufre hasta H_2SO_4 cuando el producto es aplicado al suelo. La acidulación entonces es provocada por diferentes especies de bacterias, siendo las más importantes las especies de bacterias oxidantes como *Thiobacillus thiooxidans* y *T. thioparus*. De acuerdo a Dommergues y Mangenot, (1970), la mayoría son autótrofos y dependen de la fijación de CO_2 como *T. thiooxidans*, *T. denitrificans*.

Cuadro N° 4.3 Análisis de varianza del pH del suelo por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino con cultivo de naranjo. Tercera evaluación (20-08-2012).

| FV | GL | SC | CM | Fc |
|--------------|----|-------------|------------|---------|
| Tratamientos | 5 | 1.331911111 | 0.26638222 | 31.31** |
| Error | 12 | 0.102066667 | 0.00850556 | |
| Total | 17 | 1.433977778 | | |

CV= 1.18%

A cinco meses de evaluada la reacción del suelo se observa en el gráfico 4.3 que la disminución del pH -con la aplicación de cualquier dosis de flor de azufre- resulta en comportamiento similar entre T1 y T5 y el último grupo también similares entre si formado por T3 y T2 con los pH más bajos (7.85 y 7.75). Sin embargo todos se muestran ligeramente mayores a los encontrados durante los tres primeros meses (Gráfico 4.1), lo que supondría un efecto de la capacidad tampón del suelo como refiere Brautigán (2010) que obtuvo un pequeño aumento en el pH del suelo al final del experimento en el testigo, que no recibió nada, debido a que el carbonato en el suelo reacciona con agua formando ácido carbónico y el ácido carbónico formado se descompone en agua y CO₂, dejando los grupos hidroxilo para incrementar el pH. Adicionalmente a ello se debe considerar que el agua de riego que se emplea en la zona posee una salinidad moderada, pues la CE alcanza el valor de 930 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Con un total de sales solubles de 595.20 ppm, calcio, magnesio y sulfatos como cationes y anión predominantes respectivamente, que también podrían influir en tales reacciones.

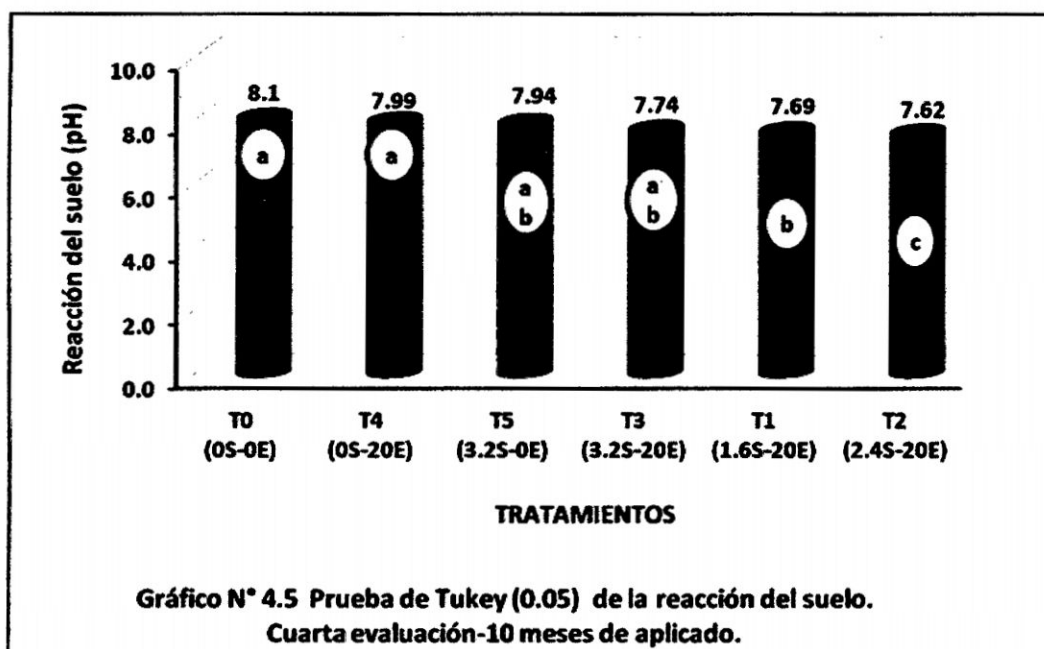


A los ocho meses -tercera evaluación- (Gráfico 4.4) se observa que la reacción del suelo nuevamente –entre los tratamientos que recibieron alguna dosis de flor de azufre- disminuye ligeramente en relación al periodo anterior, hasta alcanzar un valor de 7.26 con la dosis alta de flor de azufre siempre en cuando vaya acompañado de estiércol, pues de lo contrario la sulfoxidación de la enmienda no se produce a la velocidad con que lo hace en presencia de microorganismos presentes en el estiércol, por ello en el tratamiento T5 (3.2 kg S-0E) la reacción del suelo es mayor.

Cuadro N° 4.4 Análisis de varianza del pH del suelo por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino con cultivo de naranjo. Cuarta evaluación (15-10-2012).

| FV | GL | SC | CM | Fc |
|--------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| Tratamientos | 5 | 0.539977778 | 0.10799556 | 5.83** |
| Error | 12 | 0.222066667 | 0.01850556 | |
| Total | 17 | 0.762044444 | | |

CV= 1.73%



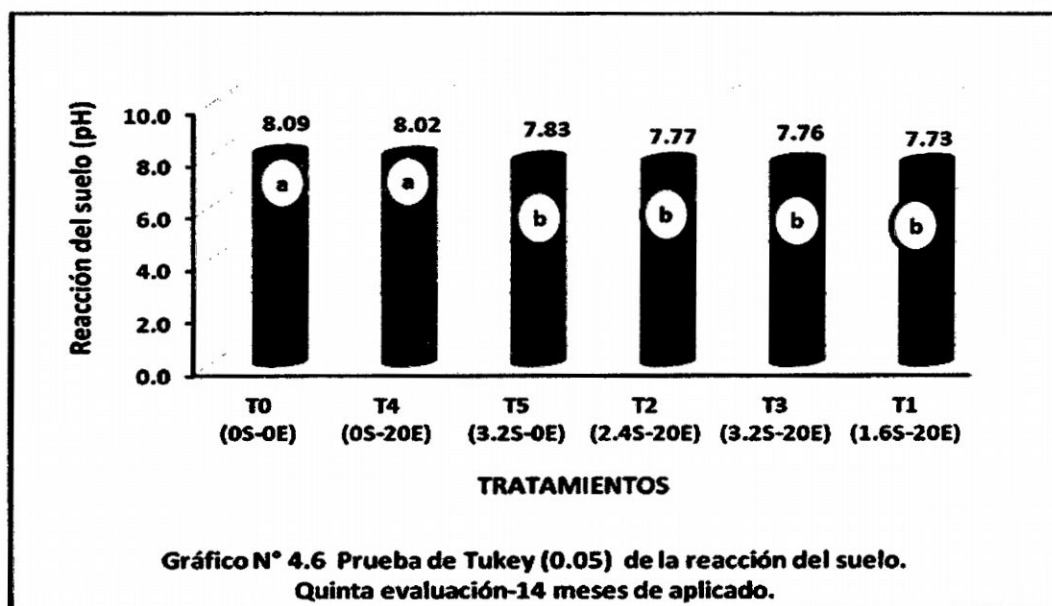
A los diez meses –Cuarta evaluación– (Gráfico 4.5) se observa que el pH prácticamente se mantiene con ligeras variaciones que en algunos casos resultan con un ligero incremento del pH (T3) y en otros ligeramente menores como en los tratamientos que recibieron las otras dosis de flor de azufre. En relación a los tratamientos que muestran un ligero ascenso como en el T4, probablemente obedezca a que ya la influencia de los azúcares y compuestos orgánicos carbonados aplicados en el estiércol hayan disminuido de manera que los microorganismos también disminuyan en número y si fuera acompañado de flor de azufre su efecto sobre la sulfoxidación también sería menor de manera que podría iniciarse un lento proceso de recuperación del pH del suelo. Alternativamente, los ácidos grasos volátiles sintetizados por los microbios podrían haber reaccionado con carbonatos de suelo resultantes en la formación de aniones orgánicos básicos. La descarboxilación subsiguiente de estos aniones resultó en el consumo de H^+ , es decir, la neutralización de la acidez, resultados

similares fueron reportados por Brautigam (2010) al aplicar glucosa y melaza al suelo y al cabo de 16 semanas iniciaron la subida del pH. Al respecto Tan y Yu (1999) indican que los iones orgánicos también pueden haber contribuido al cambio de pH del suelo a través de las reacciones directas con las superficies del suelo, tales como el intercambio de ligandos entre los grupos hidroxilo y los aniones orgánicos.

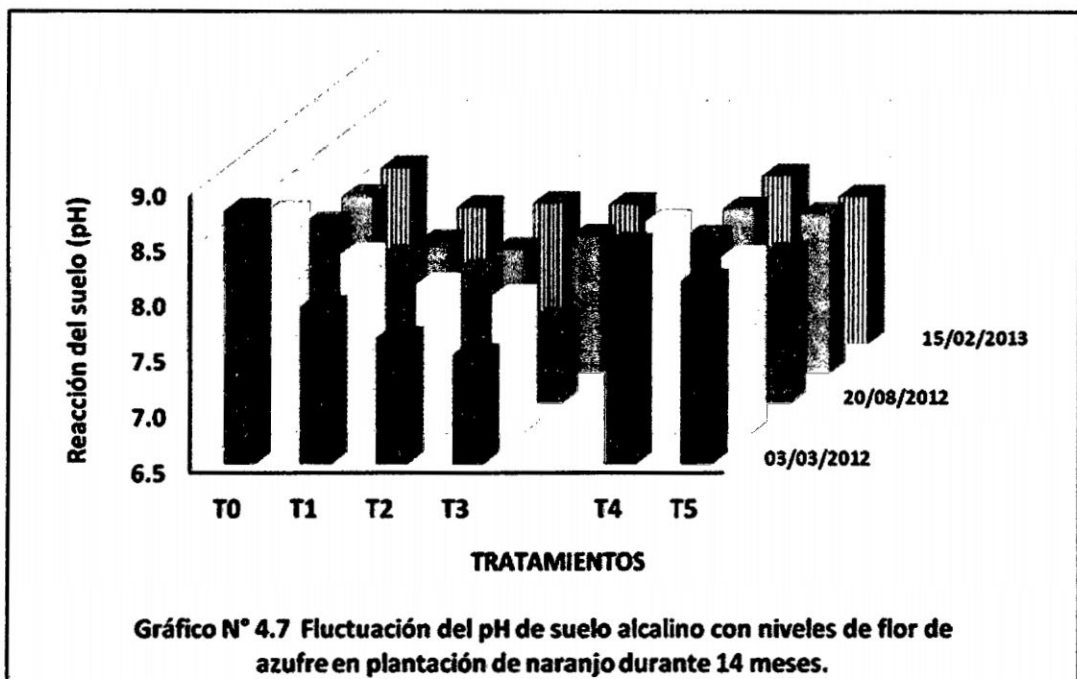
Cuadro N° 4.5 Análisis de varianza del pH del suelo por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino con cultivo de naranjo. Quinta evaluación (15-02-2013).

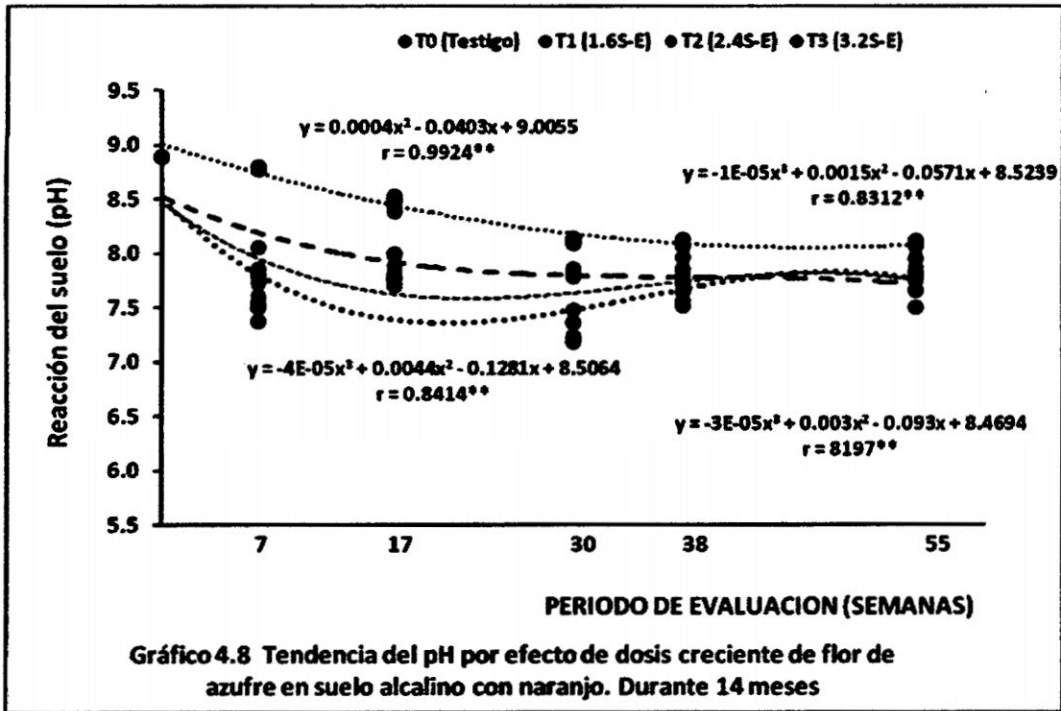
| FV | GL | SC | CM | Fc |
|--------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| Tratamientos | 5 | 0.335533333 | 0.06710667 | 5.40** |
| Error | 12 | 0.149066667 | 0.01242222 | |
| Total | 17 | 0.4846 | | |

CV= 1.41%

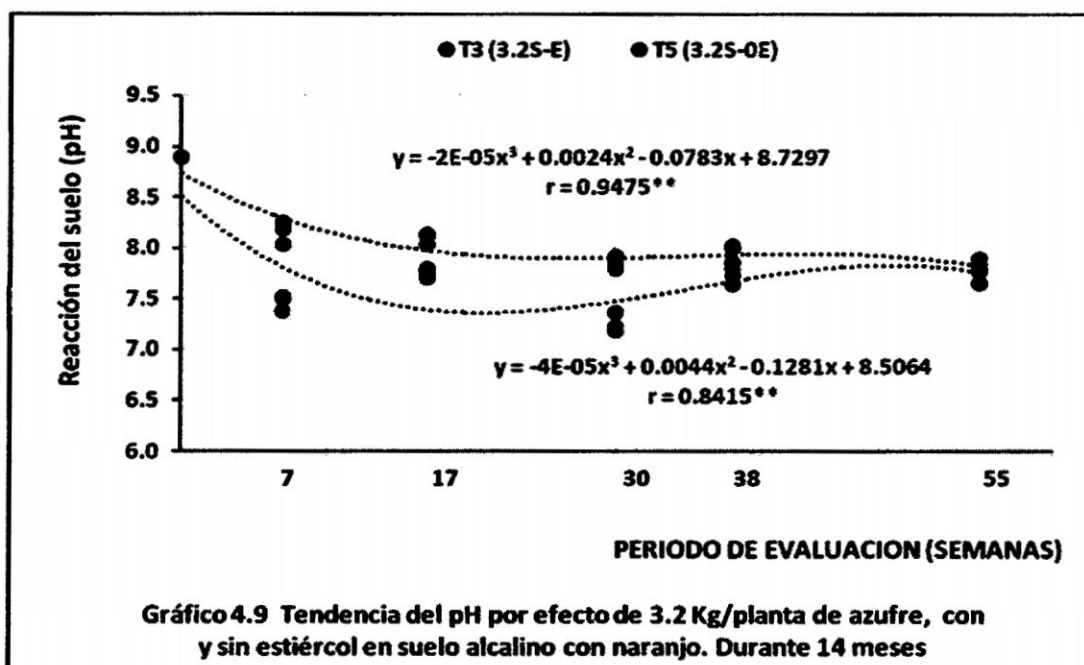


A los catorce meses -quinta evaluación- (Gráfica 4.6) se observa que el pH del suelo se mantiene constante, sin embargo en algunos casos podría estar iniciando un ascenso, sin que se observe diferencia estadística significativa entre los tratamientos que recibieron niveles de flor de azufre. Por cuanto en esta última etapa de evaluación al cabo de catorce meses de aplicada la enmienda se puede indicar que la disminución del pH del suelo es temporal, es decir podría cesar por agotamiento de fuente de energía que sustenta a microbios, o porque la enmienda se agota, finalmente también cuenta que la actividad de la planta o más exactamente las raíces de los árboles de cítricos son menos activas en razón a que ellas ingresan a un periodo corto de dormancia, lo que ocasiona por ejemplo menos absorción de nutrientes así como excreción de sustancias que a su vez activan a los microorganismos.





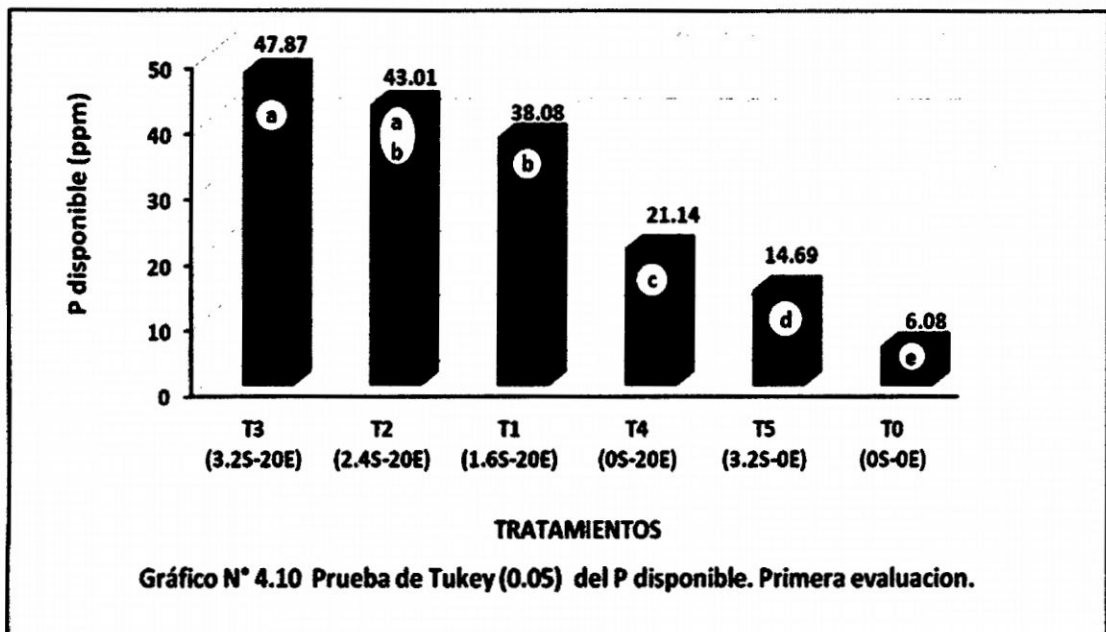
En el gráfico 4.7 se observa la fluctuación global de la reacción del suelo cuando se aplica los tratamientos y es factible diferenciar claramente que la mayor dosis de flor de azufre en presencia de estiércol permite mayor cambio de pH, no obstante ese cambio en el tiempo sufre algunas variaciones que se observan en la tendencia que aprecia en el gráfico 4.8. De este modo se aprecia que al principio la reacción cambia rápidamente en presencia de flor de azufre, siendo mayor con la dosis alta de ella, para luego en mayo (a 5 meses) se observe un ligero incremento y posterior a ella nuevamente la tendencia es a bajar.



Con la intención de resaltar el efecto de los microorganismos presentes en el estiércol sobre el proceso de oxidación de la flor de azufre, se muestra el gráfico 4.9, donde se aprecia que al incorporar dosis alta de flor de azufre junto con estiércol (T3) el efecto sobre el pH es mayor, respecto de aquel que recibe la misma dosis pero sin estiércol (T5). Se observa además que la tendencia significativa de tercer orden es similar en ambos casos, tendencias que muestran las variaciones de pH del suelo en el tiempo, como ya explicamos líneas arriba producto de las reacciones complejas de tamponamiento debido a la presencia de carbonatos básicamente. De otro lado también está el hecho de que el fosfato diamónico tiene la tendencia de elevar el pH del área circundante al gránulo a valores cercanos a 8 (Hedley y McLaughlin, (2005).

4.2 DEL CONTENIDO DE FÓSFORO DISPONIBLE

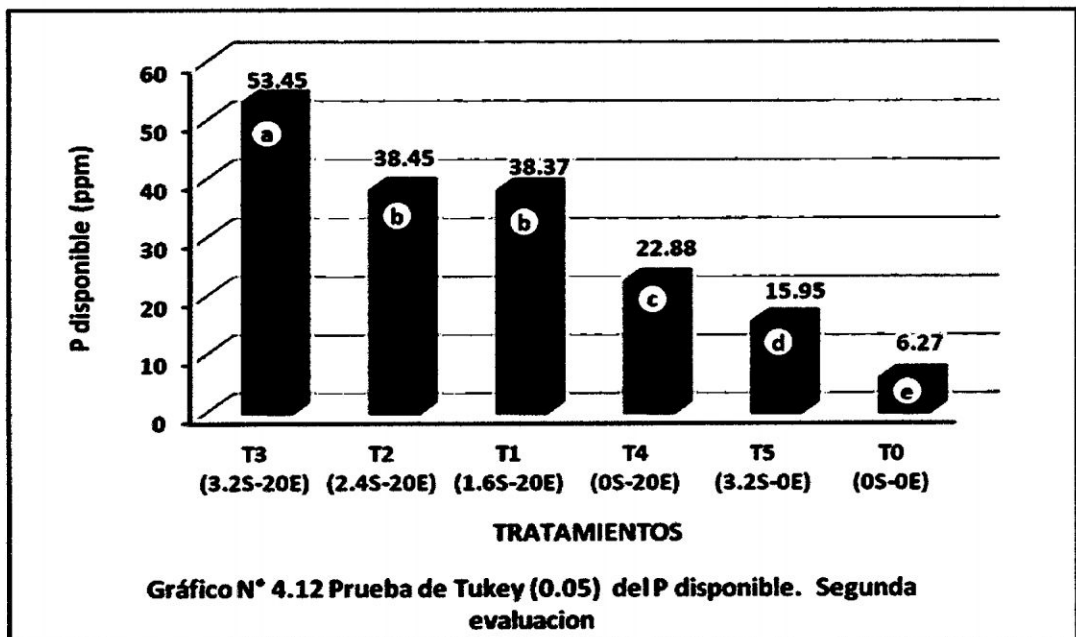
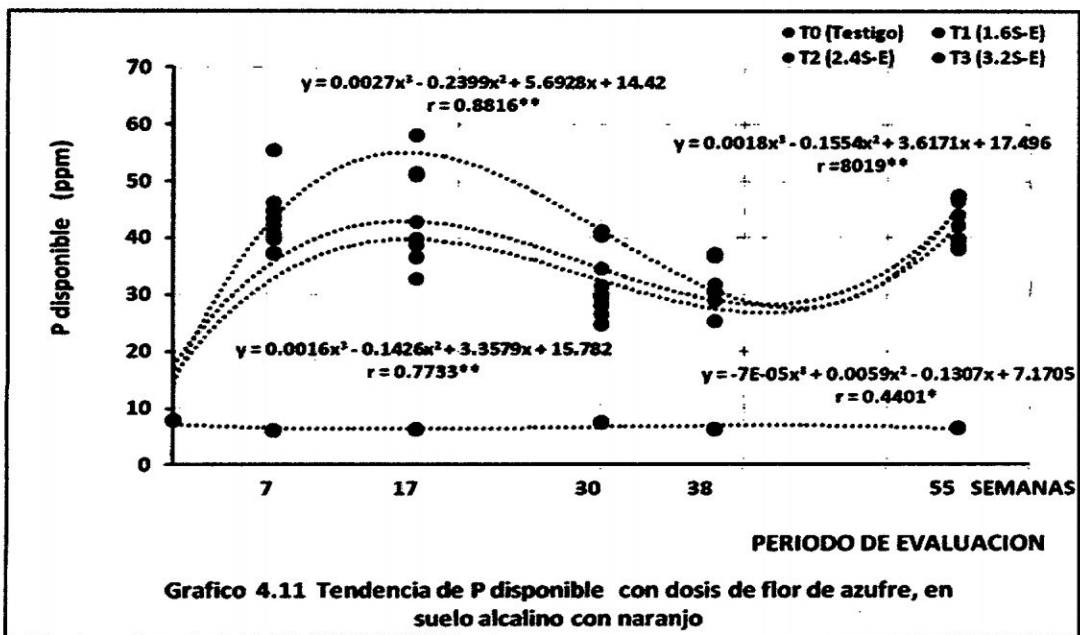
En todos los análisis de varianza del contenido de fósforo disponible del suelo que corresponden a los cinco periodos de evaluación que se muestra en el cuadro 4.6, se observa diferencia altamente significativa entre tratamientos. Realizada las pruebas de contraste de Tukey (Gráficos 4.10, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15) se observa que los mayores contenidos de P disponible en el suelo luego de la aplicación de la enmienda flor de azufre están en aquellos tratamientos que recibieron alguna dosis de flor de azufre junto a estiércol, siendo mayor con la dosis alta (3.2 Kg de flor de azufre + estiércol/árbol), con el que se alcanza por ejemplo a 47.87 ppm de P a tres meses de aplicado los abonos.



El contenido de P inicial en el suelo fue calificado como bajo o pobre (7.91 ppm), y la mayor disponibilidad que se muestran en los tratamientos con flor de azufre e inclusive aquél con tan solo estiércol (T4) es porque se hicieron aplicaciones de fósforo soluble (21-01-2012) vía fertilización a excepción del testigo (T0). Por ello en este último se tiene que prácticamente luego de una ligera disminución, el contenido de fósforo se mantiene constante (Gráfico 4.11).

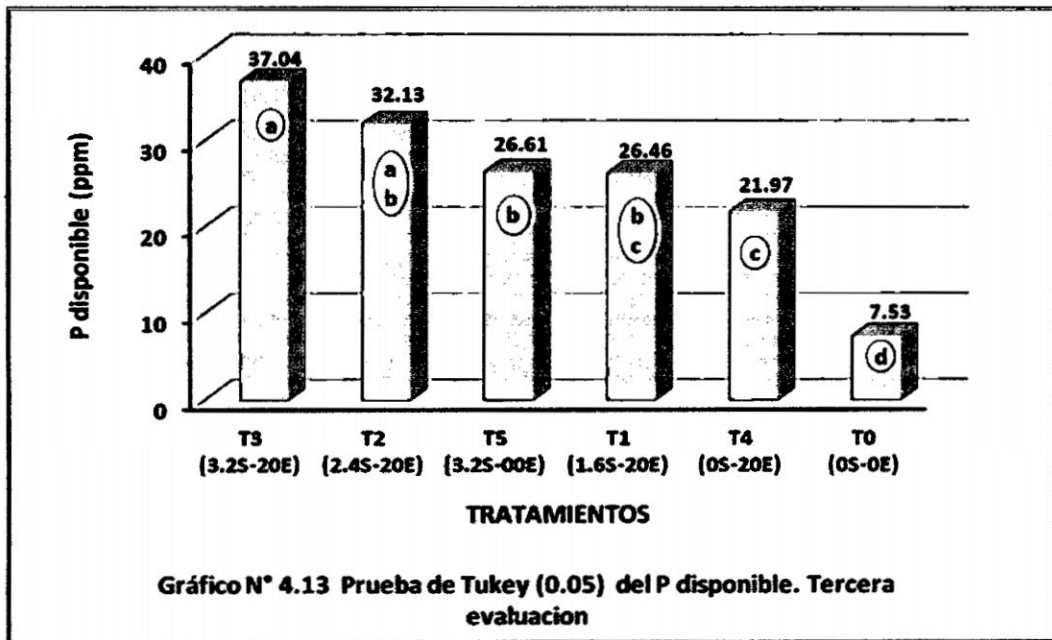
Cuadro N° 4.6 Análisis de varianza del contenido de fósforo disponible, por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino con cultivo de naranjo. En todos los periodos de evaluación.

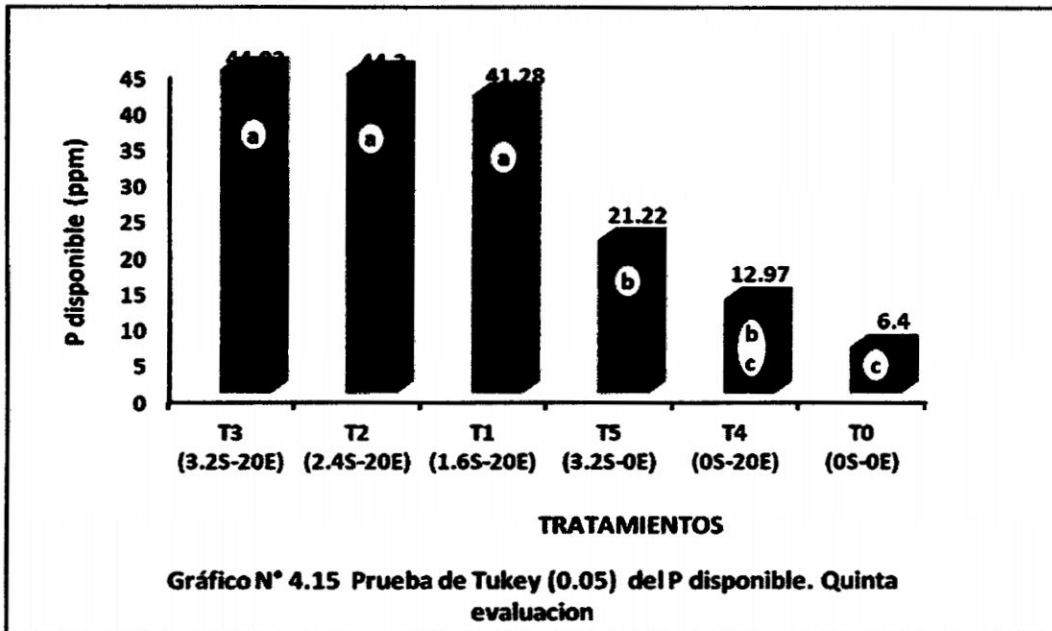
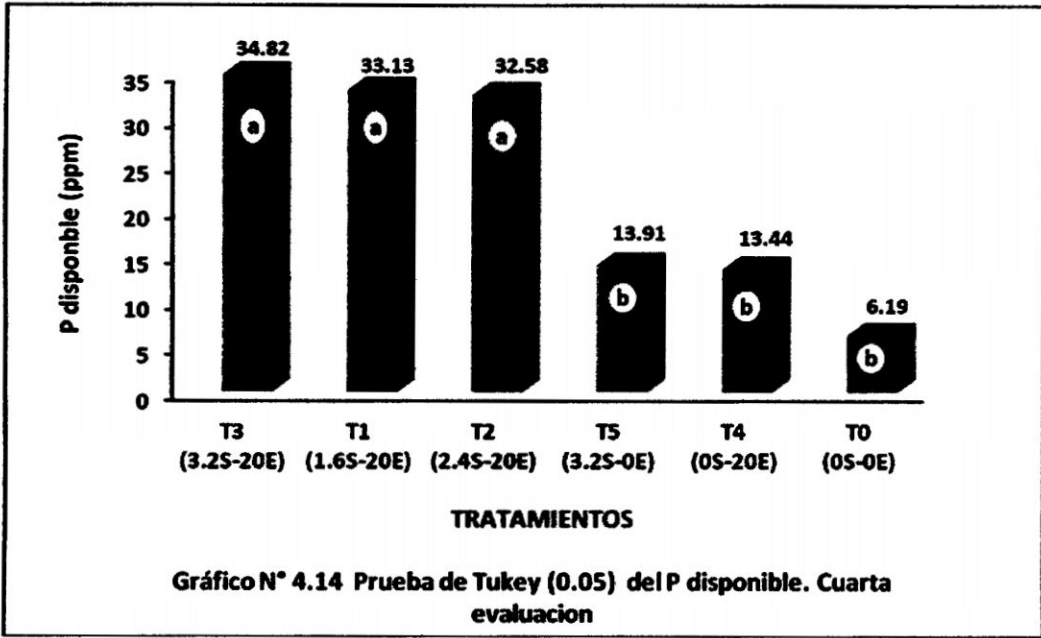
| PERIODOS DE EVALUACIÓN | | | | | | | | | | | |
|------------------------|----|-----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|--------|---------|---------|
| FV | GL | PRIMERA | | SEGUNDA | | TERCERA | | CUARTA | | QUINTA | |
| | | CM | Fc | CM | Fc | CM | Fc | CM | Fc | CM | Fc |
| Tratamientos | 5 | 855.14789 | 91.07** | 899.3482 | 98.57** | 308.5449 | 30.27** | 472.6772 | 31.1** | 877.452 | 51.42** |
| Error | 12 | 9.38985 | | 9.123761 | | 10.19041 | | 15.1985 | | 17.0614 | |
| Total | 17 | | | | | | | | | | |
| CV (%) | | 10.76 | | 10.33 | | 12.62 | | 17.44 | | 14.49 | |



En general se observa que paralelamente a la disminución de la reacción del suelo –provocada en aquellos tratamientos con alguna aplicación de flor de azufre con estiércol- existe tendencia a aumentar el contenido de fósforo del suelo, tal como

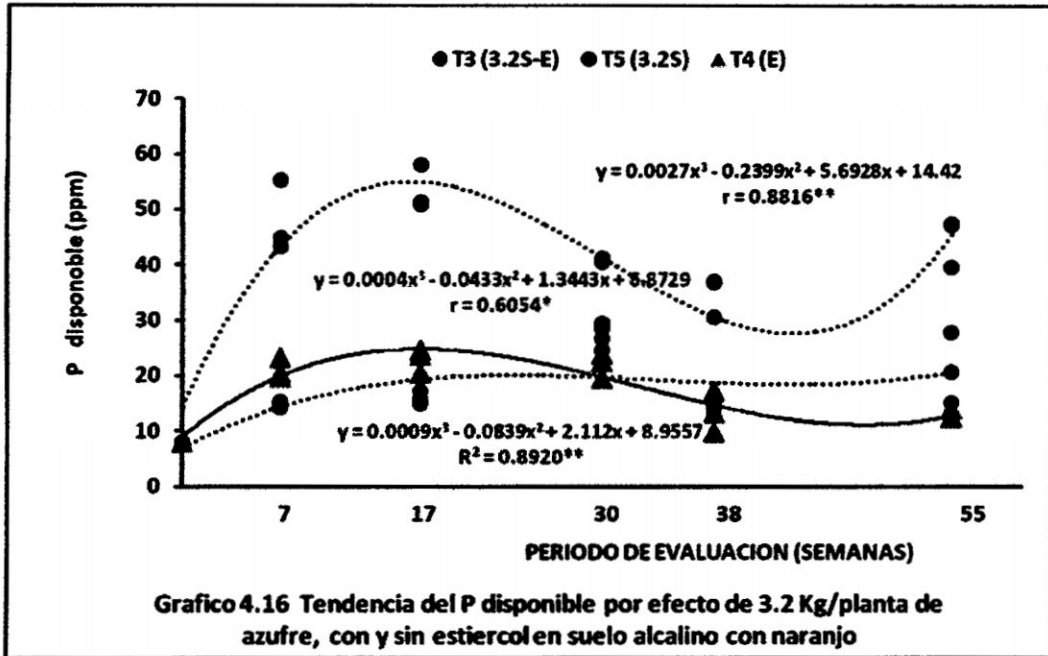
se advierten en todas las gráficas de las pruebas de Tukey, los que comparativamente al testigo son bastante más altos. Se entiende entonces que el contenido de fósforo determinado vía análisis son principalmente aquellos que fueron incorporados vía abono, además de los que provienen de la descomposición del estiércol así como los nativos que son lábiles cuando las condiciones de pH mejoran. Se trata de suelos fuertemente alcalinos donde predominan carbonatos de calcio y en este medio la probabilidad de que el fósforo nativo o aplicado sea retrogradado, es alta Brady y Weil, (2008).





Las variaciones del contenido de P en el tiempo, que se observan en la figura 4.11 muestra que en el mes de agosto o en la tercera evaluación (a 7 meses de aplicado el abono) la concentración de ellos disminuyen un tanto y prácticamente se

mantienen hasta el mes de octubre, vale decir al final del llenado de frutos o naranjos. Según Brady y Weil (2008) en el suelo pueden existir diferentes formas de fosfato como aquellas ligadas al Fe, Al, Ca o Mg dependiendo de la reacción del mismo. Por ejemplo, en suelos alcalinos son dominantes las sales de calcio, magnesio y sodio, los que dependiendo del grado de alcalinidad, va aumentando la probabilidad de formar sales de calcio como en este caso, se estarían formando sales insolubles de Ca-fosfatos. Este complejo fenómeno, que se conoce con el nombre de fijación, obedece a un conjunto de causas múltiples que dependen, de un modo principal, de la naturaleza de cada suelo. Sus efectos son la inmovilización de una gran parte del fósforo añadido y, en consecuencia, la disminución del nivel de fósforo asimilable por las plantas. Este fenómeno puede tener lugar en un tiempo muy corto y alcanzar extensión considerable Lambers et al, (2006). Así los resultados reportados por Bakker et al, (2005) al trabajar en suelos alcalinos, luego de aplicar dosis de 800 a 1.000 kg de superfosfato/ha, encuentran que el 16%, pasó en un tiempo de cuatro meses a un nivel de fósforo extraíble, tan bajo como el que tenían antes de ser abonados. Por lo tanto en el suelo se van a producir dichas reacciones, pero si el pH se mantiene más bajo de lo habitual, la posibilidad de que el P aplicado y nativo se mantenga lábil es favorable, de igual modo de existir principalmente micronutrientes ellos también se verían favorecidos a excepción del molibdeno que siempre estaría disponible.



Nuevamente el estiércol incorporado –como portador de bacterias oxidantes de azufre- en los tratamientos con flor de azufre como en el (T3) mostrado en el grafico 4.16, pone en evidencia que la incorporación de bacterias en el estiércol son indispensables para provocar cambios significativos en la reacción del suelo que a su vez se traduce en el aumento del contenido del P disponible a niveles que prácticamente duplican respecto de aquellos donde no se incluye el estiércol (T5). También se observa en la misma gráfica que la sola incorporación de estiércol favorece a una mayor disponibilidad de fósforo incorporado, sin embargo resulta siendo de menor proporción comparativamente a aquellos donde se incorpora flor de azufre y estiércol simultáneamente.

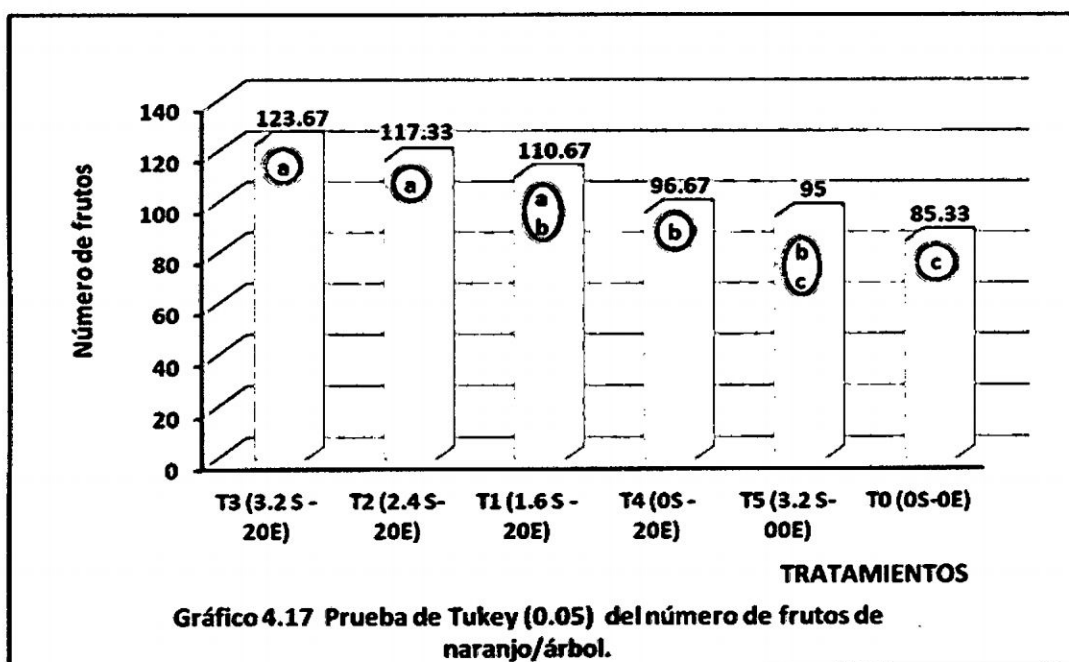
4.3 DEL NÚMERO DE FRUTOS DE NARANJO

En el análisis de varianza del número de frutos de naranjo que se muestra en el cuadro 4.7 muestra diferencia altamente significativa en los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variabilidad de 9.19% cifra que se encuentra dentro del margen de error aceptable, para condiciones de campo Calzada, (1982).

Cuadro N° 4.7 Análisis de varianza del número de frutos/árbol por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino. Al momento de la cosecha

| FV | GL | SC | CM | Fc |
|--------------|----|------------|------------|--------|
| Tratamientos | 5 | 3265.77778 | 653.155556 | 7.04** |
| Error | 12 | 1113.33333 | 92.7777778 | |
| Total | 17 | 4379.11111 | | |

CV = 9.19%



La prueba de Tukey que se muestra en el gráfico 4.17 muestra que existen tres grupos de tratamientos bien diferenciados, ocupando los primeros lugares con mayor número de frutos de naranjo aquellos tratamientos que recibieron alguna dosis de flor de azufre con estiércol con un número de frutos fluctuante entre 110.67 a 123.67 correspondiendo este último al tratamiento de mayor dosis de flor de azufre. El segundo grupo constituido por el que recibió solo estiércol sin diferenciarse del tratamiento con solo flor de azufre y en último lugar el testigo con 85.33 frutos de naranjo/árbol. Por cuanto la mayor disponibilidad de nutrientes producto de un pH que induce a mantener solubles los nutrientes se traduce en mayor número de frutos.

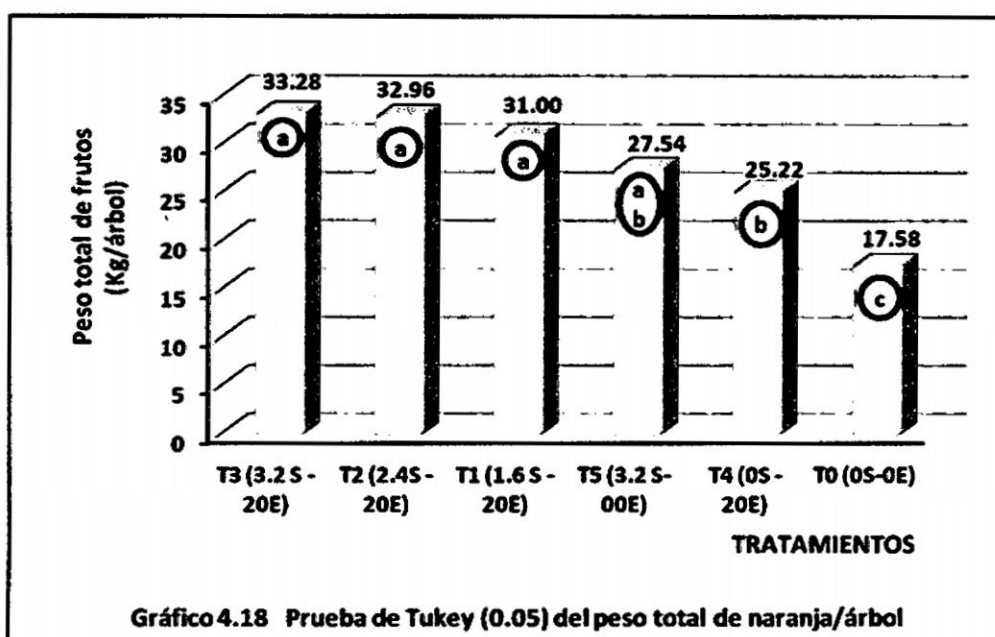
4.4 DEL PESO TOTAL FRUTOS DE NARANJO

En el análisis de varianza del peso total de frutos de naranjo que se muestra en el cuadro 4.8, muestra diferencia altamente significativa en los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variabilidad de 9.17% cifra que se encuentra dentro del margen de error aceptable, para condiciones de campo Calzada, (1982).

Cuadro N° 4.8 Análisis de varianza del peso total de frutos/árbol por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino.

| FV | GL | SC | GM | Fc |
|--------------|----|------------|------------|---------|
| Tratamientos | 5 | 547.368378 | 109.473676 | 16.67** |
| Error | 12 | 78.7644 | 6.5637 | |
| Total | 17 | 626.132778 | | |

CV = 9.17%



La prueba de Tukey (0.05) del gráfico 4.18, muestra que los mayores rendimientos de naranja/árbol, se obtuvieron cuando se aplicaron al suelo niveles crecientes de flor de azufre (desde 1.6 - 3.2 Kg/árbol) junto a estiércol pues favorecen a la obtención de mayor peso total de frutos de naranja, lógicamente esto está relacionado con la disponibilidad de nutrientes así como por la salubridad de las plantas. Respecto a esto último se puede mencionar que se pudo

notar que aquellas plantas que recibieron dosis de flor de azufre mostraron menor incidencia de la “fumagina”, en relación a ello Marschner (1999) refieren que el azufre en su forma no reducida es un componente de los sulfolípidos y es por lo tanto un constituyente de todas las membranas biológicas que contribuyen a la estabilidad de ellas, además de favorecer el transporte de nutrientes. De otro lado Taiz y Zeiger (1998) refieren que la presencia del azufre, fosforo, entre otros permite la formación de terpenos -metabolitos secundarios- presentes en la planta, cuya función principal es protegerla contra los herbívoros y patógenos microbianos.

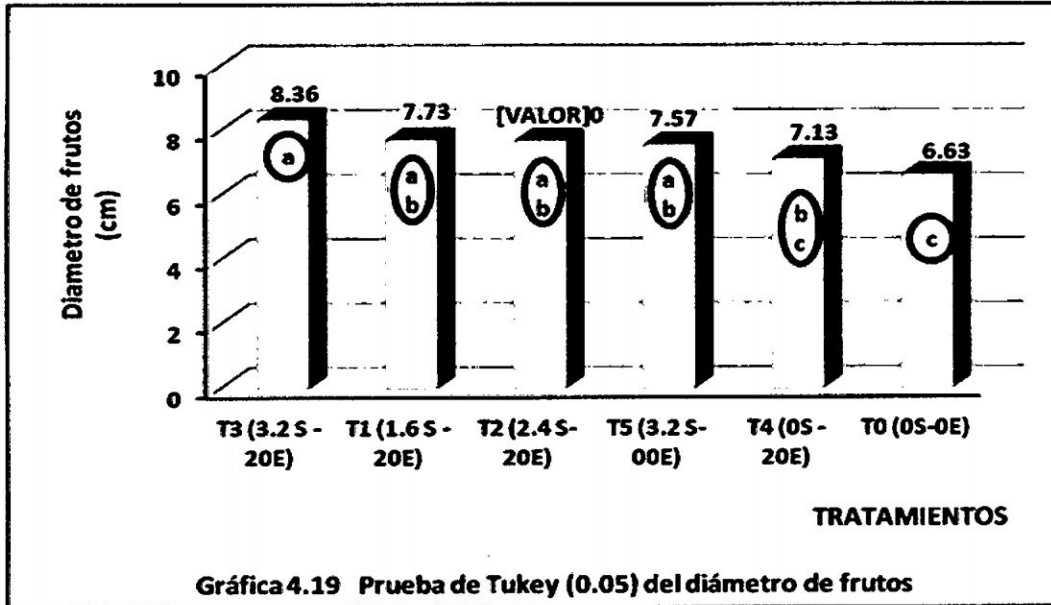
4.5 DEL DIÁMETRO DE FRUTOS DE NARANJO

En el análisis de varianza del diámetro de frutos de naranjo que se muestra en el cuadro 4.9, muestra diferencia altamente significativa en los tratamientos evaluados con un coeficiente de variabilidad de 5.73%.

Cuadro N° 4.9 Análisis de varianza del diámetro de frutos, por efecto de la aplicación de flor de azufre en suelo fuertemente alcalino.

| FV | GL | SC | CM | Fc |
|--------------|-----------|------------|------------|-----------|
| Tratamientos | 5 | 5.91777778 | 1.18355556 | 6.32** |
| Error | 12 | 2.24666667 | 0.18722222 | |
| Total | 17 | 8.16444444 | | |

CV = 5.73%



La prueba de Tukey (0.05) del gráfico 4.19, muestra diámetro de frutos de naranja con los frutos de mayor tamaño en el tratamiento que recibió la cantidad de 3.2 Kg de flor de azufre/árbol junto a estiércol, no obstante sin mostrar diferencia estadística con el restante grupo de tratamientos que recibieron alguna dosis de la enmienda. Los frutos de menor diámetro en promedio de 6.63 cm se obtuvieron en el tratamiento testigo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las conclusiones a las que se arribaron; serán congruentes con el tipo de suelo empleado o similar.

1. En los primeros ocho meses de aplicado 3.2 Kg flor de azufre con 20 Kg de estiércol/árbol de naranjo, el pH disminuye de 8.89 a 7.26, luego el efecto es similar a las dosis 1.6 y 2.4 Kg de FS-E, con los que se alcanza 7.61-7.77 de pH a catorce meses.
2. La mayor disponibilidad de P se obtuvo hasta los cinco primeros meses de incorporada las enmiendas, siendo mayor con 3.2 Kg flor de azufre-estiércol/árbol de naranjo, posteriormente el comportamiento de las dosis es similar entre sí fluctuando el fósforo lábil entre 41.28 - 44.83 ppm de P a catorce meses.

3. El número, el diámetro y el peso total de frutos de naranja resultan mayores con la aplicación de 3.2 Kg de flor de azufre y estiércol sin diferenciarse estadísticamente de los niveles 1.6 y 2.4 Kg de FS.

5.2 Recomendaciones:

1. En suelo alcalino con pH por encima de 8.8 aplicar 3.2 Kg de flor de azufre junto a 20 Kg de estiércol por árbol, para mejorar la disponibilidad del fósforo nativo y/o aplicado, así como el del rendimiento de frutos.
2. Continuar investigando, pues hay necesidad de conocer mayor detalle en cuanto a periodo de duración de flor de azufre, dosis de estiércol, formas de aplicación, especies de cultivos en diferentes tipos de suelos, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agustí, M. 2000. Citricultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
2. Alexander, M. 1980. Introducción a la Microbiología del suelo. AGT (Eds), México. D.F.
3. Arvieu, J; Leprince, F. y Plassard, C. 2003. Release of oxalate and protons by ectomycorrhizal fungi and response to P-deficiency and calcium carbonate in nutrient solution. *Annals of Forest Science*, 60, 815-821.
4. Avilan, L. y Rengifo, C. 1988. Los Cítricos, Editorial América CA. I Edición.
5. Bakker C, Rodenburg J, Van Bodegom PM. 2005. Effects of Ca- and Fe-rich seepage on P availability and plant performance in calcareous dune soils. *Plant and Soil* 275: 111–122.
6. Barea, J. & Olivares, J. 1998. Manejo de las propiedades biológicas del suelo. En: Jiménez Díaz, L. y R. Lamo de Espinosa (ed) *Agricultura sostenible*. Editorial Mundi Prensa. Madrid, 173-193.
7. Bates, T.; Lynch, J. 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. *Am J Bot* 87: 964-970.
8. Boletín técnico. INIA. 1996. Cultivo de los cítricos. Boletín técnico n° 6.
9. Bornemiza, E. 1990. Problemas de azufre en suelos y cultivos de Mesoamérica. Edit. De la Universidad de Costa Rica. Primera Edición.

10. Brady, N. 1990. *The nature and properties of soils*. 10a ed. New York, USA, Prentice-Hall. 590 p.
11. Brady, N; Weil, R. 2008. *The nature and properties of soils*. Edit. Pearson Prentice hall. Fourteenth edition. Columbus, Ohio.
12. Brautigan, D. 2010. *Chemistry, Phytotoxicity and Remediation of Alkaline Soils*. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. School of Earth and Enviromental Sciences. The University of Adelaide. Australia.
13. Calzada, J. 1982. *Métodos estadísticos para la investigación*. Editorial Milagros S.A. Quinta Edición.
14. Carrillo, L. 2003. *Microbiología Agrícola*. Universidad Nacional del Salta. Argentina.
15. Casarin, V; Plassard, C; Souche, G. y Arvieu, J. 2003. Quantification of oxalate ions and protons released by ectomycorrhizal fungi in rhzosphere soil. *Agromy for sustainable development*, 23 (5-6), 461-469.
16. Chapman, S. 1990. Oxidación de azufre micronizado elemental en el suelo. *Planta del suelo*; 116:69-76.
17. Cifuentes, F y Lindemann, W. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 57:727-731.
18. Deng, S. y Dik, R. 1990. Sulfur oxidation and rhodanese activity in soils. *Soil Sci.* 150:552-560.
19. Dommergues, Y. y Mangenot, F. 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Paris. Massonet Cie, pp. 92-154.

20. Durán-Vila, N. y Moreno, P. 2000. Enfermedades de los cítricos. Monografía de la Sociedad Española de Fitopatología No. 2, 165 pp.
21. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1985. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Boletín FAO Fertilizantes y Nutricion Vegetal. Viena, Austria.
22. Fassbender, H. y Bornemisza, E. 1987. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. IICA San José de Costa Rica. Segunda Edición.
23. Fenn, L; Malstrom, H.; Riley, T. y Horts, G. 1990. Acidification of calcareous soils improves zinc absorption of pecan trees. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 115:741-744.
24. Fixen, P. y Grove, J. 1990. Testing soils for phosphorus. Pp. 141-180. In Westerman, R. (Ed.) Soil testing and Plant analysis. Third edition. SSA. Book series.
25. Fundación Servicio para el Agricultor (FUSAGRI), 1986. Cítricas, Editorial FUSAGRI, II Edición Patrocinada por MARAVEN.
26. Gadd, G. 1999. Fungal production of citric and oxalic acid: importance in metal speciation, physiology and biogeochemical processes. Advances in microbial physiology, 41, 47-92.
27. Hauter, R. y Steffens, D. 1985. Influence of mineral and symbiotic nitrogen on proton release of roots, phosphorus-uptake and root development of red clover Zeitschrift fur pflanzenernahrung und bodenkunde., 148 (6), 633-646.



28. Havlin, j., Beaton, J.; Tisdale, L., y Nelson, L. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. 6th ed. Prentic Hall, New Jersey, USA.
29. Hayes JE, Simpson RJ, Richardson AE. 2000. The growth and phosphorus utilisation of plants in sterile media when supplied with inositol hexaphosphate, glucose 1-phosphate or inorganic phosphate. *Plant and Soil* 220: 165–174.
30. Hedley, M. y McLaughlin, M. 2005. Reactions of Phosphate Fertilizers and by products in soil. *Agriculture ND Environment. Agronomy Monograph N° 46.*
31. Holford, I. y Mattingly, G. 1979. Phosphate sorption by Jurassic oolitic limestones. *Geoderma*, 13:257-264.
32. Horowitz, N; Meurer, E., Enofre. 2005. Uso de enxofre elementar como fertilizante. En: *Informacoes Agronomicas. Brasil. N°12. Dezembro. POTAFOS.*
33. Iftikhar, A.; Rifat, H.; Safdar, A.; Ummay, A. y Rabia, K. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Ann Microbiol.*010-0117-1.
34. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). 2012. Variedades de cítricos cultivadas en España. Oficina de Transferencia de resultados de investigación.
35. Jones, J. 1999. *Plant Nutrition. CRC Press. Florida. USA. 140p.*

36. Keerthisinghe G, Hocking P, Ryan PR, Delhaize E. 1998. Effect of phosphorus supply on the formation and function of proteoid roots of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant, Cell and Environment* 21: 467–478.
37. Khasawneh, F. 1980. The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc.
38. Lambers, H.; Cramer, M.; Shane, M.; Pearse, S.; Veneklaas, E. 2006. Root Structure and functioning for Efficient Acquisition of Phosphorus: Matching Morphological and Physiological Traits. *Ann Botanical Journal* 98 (4).
39. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press. Cambridge, 641-643.
40. Miyamoto, S. 1998. Use of acids and acidulants on Alkali soils and water. p. 217-255. In A. Wallace and R.E. Terry (eds.) Handbook of soil conditioner substances that enhance the physical properties of soil. Part III. Mineral soil conditioners. Marcel Dekker, New York, USA.
41. Mullen, R y Matson, M. 2007. Soil acidification: how to lower soil pH. The Ohio State University
42. Porta, J; López, M; Roquero, C. 2003. Edafología, para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. 3era edición. España.
43. Primavesi, A. 1980. Manejo ecológico del suelo. 5ª. Ed. El Ateneo, Bs.As. 499p.
44. Rubio, G. y Álvarez, C. 2010. Fosforo: dinámica y evaluación en agro ecosistemas. Pp. 311-336. En Álvarez, R. G. Rubio, C. Álvarez y R. Lavado

(Eds). Fertilidad de suelos caracterización y manejo en la región Pampeana.
Editorial Facultad de Agronomía, UBA.

45. Sample, E; Soper, R; Racz, G. 1980. Reaction of phosphate fertilizer in soil.
In *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Edited by Khasawneh EF, Sample EC, Kamprath EJ. WI: American Society of Agronomy: 263-310.
46. Sierra, C; Lancelloti, A. y Vidal, I. 2007. Azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV Región de Chile.
Agricultura técnica. Chile. 18.
47. Sims, J. y Pierzynski, G. 2005. Chemistry of Phosphorus in Soils. Pp. 151- to 192. In M. Tabatabay and Sparks, D. (Eds) *Chemical Processes in Soils*. SSA Book. Series 8.
48. Soler, J. y Bono, R. 2012. Comportamiento de las últimas variedades cítricos comercializadas y características de variedades de próxima comercialización (2009/2015). Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
49. Stevenson, F. 1986. *Cycles of soil*. New York. Jhon Wiley & Sons, pp 5-23.
50. Tabatabai, M.A., 2005. Chemistry of sulfur in soils. In: *Chemical Processes in Soils*. M.A Tabatabai and D.L Sparks (Co-editors). Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
51. Taiz, L. y Zeiger, E. 1998. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Second Edition. Sunderland, Massachusetts. U.S.A.
52. Tan, K. 1993. *Principles of soil chemistry*. 2a ed. Marcel Dekker, New York, USA. 210p.

53. Tang, C. y Yu, Q. 1999. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of soil after residue incorporation. *Plant and Soil*, 215, 29-38.
54. Tisdale, S. 1991. Fertilidad del suelo. Editorial la Habana. Instituto cubano del libro. Cuba. 780 p.
55. Undurraga, P. 2002. Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA.
56. Villagarcia, S. 1994. Manual de uso de fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de suelos y fertilizantes. Lima – Perú.
57. Villagarcia, S. 1999. Fertilización, manejo de suelos y nutrición mineral de azufre bajo condiciones de clima, suelo, cultivo y nivel tecnológico de la agricultura andina. Universidad Nacional agraria La Molina. Lima – Perú.
58. Xu, R; Coventry, D; Farhoodi, A. y Schultz, E. 2002. Soil acidifications as influenced by crop rotations, stubble management, and application of nitrogenous fertiliser, Tarlee, South Australia. *Australian Journal of Soil Research.*, 40, 483-496.
59. Yan, Z; Schubert, S. y Mengal, K. 1996. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. *Soil Biology and Biochemistry*, 28 17-24.
60. Zaragoza S, Trenor I, Alonso E, Primo Millo-E y Agustí M. 1993. Tratamientos para aumentar el tamaño del fruto de naranja. *Proc. Int. Soc. Citricultura*.
61. www.infoagro.com/citricos

ANEXO

Anexo 1. Cuadro de resultados del análisis de pH en suelos durante catorce meses de evaluación

| MARZO | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 8.8 | 7.86 | 7.73 | 7.5 | 8.47 | 8.25 |
| II | 8.77 | 8.06 | 7.61 | 7.38 | 8.46 | 8.18 |
| III | 8.78 | 7.8 | 7.56 | 7.52 | 8.52 | 8.03 |
| MAYO | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 8.53 | 8.39 | 7.85 | 7.7 | 8.39 | 8.14 |
| II | 8.45 | 8 | 7.89 | 7.79 | 8.43 | 8.12 |
| III | 8.48 | 7.98 | 7.8 | 7.76 | 8.45 | 8.04 |
| AGOSTO | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 8.14 | 7.86 | 7.83 | 7.36 | 8 | 7.84 |
| II | 8.12 | 7.84 | 7.48 | 7.19 | 7.97 | 7.79 |
| III | 8.09 | 7.78 | 7.78 | 7.23 | 8.02 | 7.92 |
| OCTUBRE | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 8.10 | 7.56 | 7.52 | 7.64 | 7.94 | 7.79 |
| II | 8.07 | 7.96 | 7.53 | 7.73 | 8.02 | 8.02 |
| III | 8.13 | 7.55 | 7.80 | 7.86 | 8.00 | 8.00 |
| ENERO | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 8.11 | 7.5 | 7.87 | 7.82 | 8.02 | 7.77 |
| II | 8.09 | 7.95 | 7.67 | 7.8 | 8.06 | 7.82 |
| III | 8.07 | 7.75 | 7.78 | 7.66 | 7.97 | 7.89 |

Anexo 2. Cuadro de resultados del análisis de P disponible en suelos durante catorce meses de evaluación

| MARZO | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 6.16 | 39.8 | 46.15 | 43.39 | 19.86 | 14.58 |
| II | 5.74 | 37.13 | 42.13 | 55.36 | 20.37 | 14.18 |
| III | 6.33 | 37.3 | 40.76 | 44.85 | 23.18 | 15.3 |
| MAYO | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 5.79 | 38.75 | 39.71 | 57.99 | 23.77 | 15.81 |
| II | 4.58 | 36.51 | 32.83 | 50.94 | 20.37 | 14.84 |
| III | 8.44 | 39.86 | 42.82 | 51.41 | 24.49 | 17.21 |
| AGOSTO | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 7.82 | 28.09 | 34.67 | 29.49 | 23.79 | 26.69 |
| II | 6.16 | 24.76 | 31.51 | 40.46 | 22.53 | 28.58 |
| III | 8.62 | 26.54 | 30.21 | 41.16 | 19.58 | 24.57 |
| OCTUBRE | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 6.95 | 36.86 | 37.16 | 36.95 | 13.26 | 14.67 |
| II | 5.26 | 25.37 | 31.69 | 30.64 | 9.84 | 12.91 |
| III | 6.37 | 37.15 | 28.88 | 36.86 | 17.23 | 14.14 |
| ENERO | | | | | | |
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 3.79 | 47.22 | 42.3 | 47.5 | 12.4 | 20.72 |
| II | 5.72 | 37.92 | 46.5 | 39.7 | 12.56 | 27.92 |
| III | 9.69 | 38.71 | 44.1 | 47.3 | 13.95 | 15.02 |

Anexo 3. Rendimiento de frutos de naranjo Variedad Washington Navel en San Miguel de Mayocc

| | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| Repetición | 0S- OE | 1.6S-20E | 2.4S-20E | 3.2S-20E | 0S-20E | 3.2S-0E |
| I | 75 | 117 | 114 | 120 | 98 | 88 |
| II | 97 | 110 | 128 | 112 | 90 | 92 |
| III | 84 | 105 | 110 | 139 | 102 | 105 |

Anexo 4. Panel fotográfico



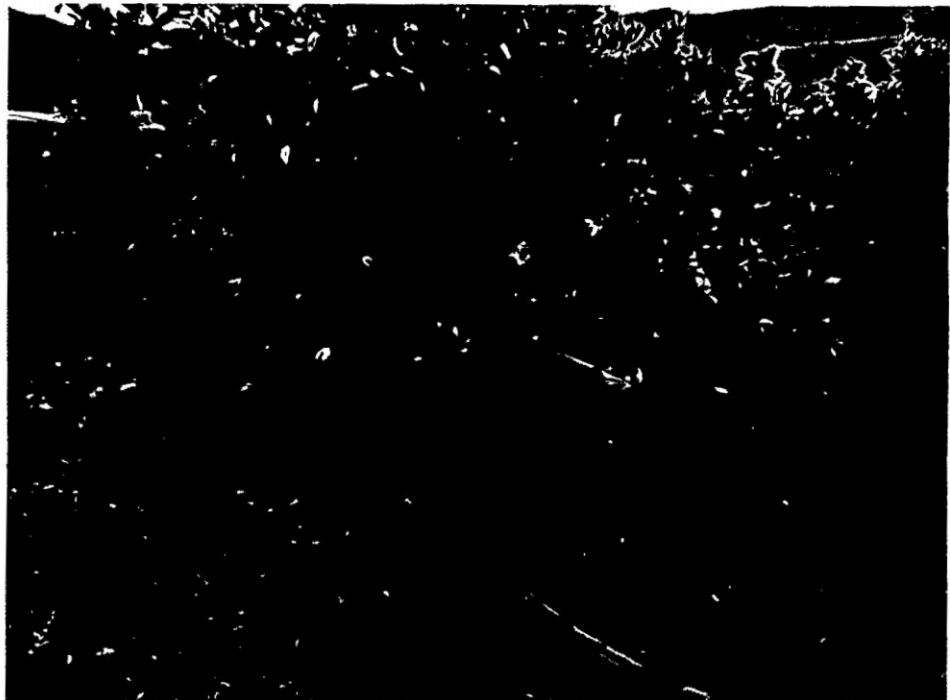
Fotografía 1. Reacción efervescente del suelo con ácido clorhídrico, indicando presencia de carbonatos



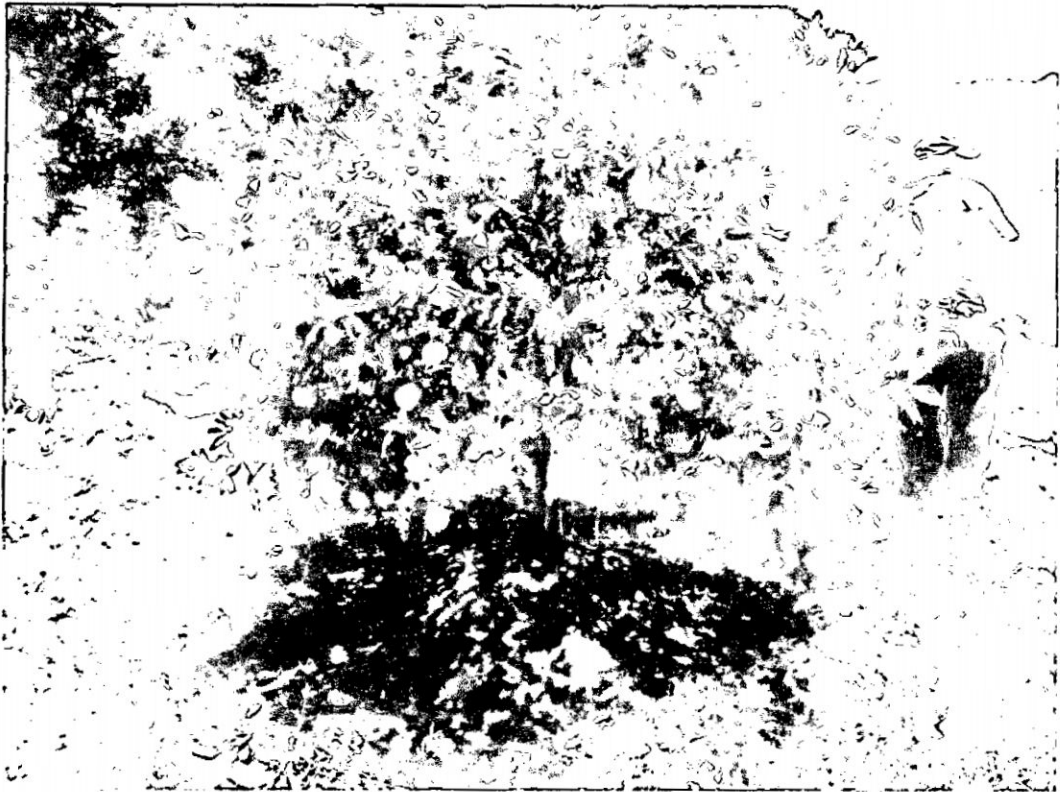
Fotografía 2. Identificación de cada árbol, según tratamiento



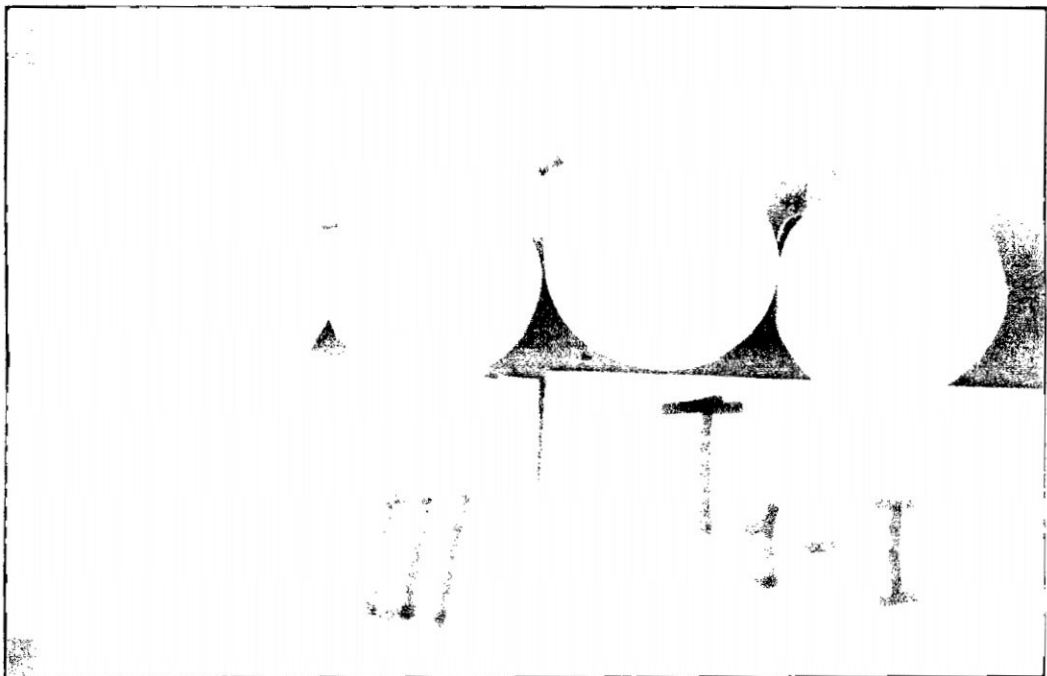
Fotografía 3. Aplicación de flor de azufre



Fotografía 4. Control de malezas



Fotografía 5. Árbol de naranja antes de cosecha



Fotografía 6. Evaluación del diámetro y grosor de fruto



Fotografía 7. Muestreo de suelos para la evaluación de pH y P disponible



Fotografía 8. Presencia de fumagina en los arboles de naranja