

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**USO DE LA TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN LA  
EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL DE SUELOS  
AGRÍCOLAS DE KIMBIRI, CUSCO. 2015**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA AGRÓNOMA**

**PRESENTADO POR:  
ESMILDA CURIÑAUPA GUZMÁN**

**AYACUCHO – PERÚ  
2017**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Salvador Curiñaupa Álvaro (†) y

Eugenia J. Guzmán Quispe.

A mis Hermanos Liliana, Loui, Dania, Williams, Nory y Hans.

A mis queridos hijos Heimy y Jheison Flores C.

A mis familiares en general.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater de mi formación profesional.

Facultad de Ciencias Agrarias; A la Escuela Profesional de Agronomía y en ella a los docentes por sus enseñanzas.

A la Ph.D. MARHLENI CERDA GÓMEZ por el asesoramiento del presente trabajo.

Al Ing. JORGE GUTIERREZ CASTILLA por el incesante apoyo moral para culminar el presente trabajo.

Y expreso mi gratitud a todas aquellas personas que me brindaron su respaldo para alcanzar mi objetivo trazado.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
<b>CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO</b>	
1.1. GENERALIDADES	4
1.2. EL SUELO	5
1.2.1. La Fertilidad del suelo	6
1.2.2. Evaluación de la fertilidad del suelo	10
1.2.3. Síntomas de deficiencia de nutrientes en las plantas.	11
1.2.4. Análisis de los tejidos de las plantas que crecen en el suelo	12
1.2.5. Pruebas biológicas	12
1.3. TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE	14
1.4. LOS ELEMENTOS ESENCIALES EN LA PLANTA.	15
1.4.1. El nitrógeno	16
1.4.2. El fósforo	20
1.4.3. El potasio	22
1.5. SÍNTOMAS FOLIARES DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES.	26
1.5.1. Diagnóstico visual	28
1.6. EL CULTIVO DE TOMATE	29
1.6.1. Origen, domesticación y distribución geográfica del tomate	29
1.6.2. Descripción botánica	30
1.6.3. Clasificación taxonómica	31

1.6.4. Morfología de la planta de tomate	32
1.6.5. Requerimientos ambientales en el cultivo del tomate.	34
<b>CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
2.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.	37
2.2. PROCEDENCIA DE MUESTRAS.	37
2.3. ASPECTOS FÍSICOS DEL DISTRITO DE KIMBIRI	38
2.4. MUESTREO.	39
2.5. ANÁLISIS DE SUELOS.	40
2.6. TRABAJO DE INVERNADERO	41
2.7. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	42
2.8. VARIABLES EVALUADAS.	45
2.8.1. Rendimiento de materia seca (g/ maceta).	45
2.8.2. Rendimiento relativo	45
2.8.3. Diseño experimental y Análisis Estadístico	45
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
3.1. DE LOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS.	46
3.2. DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA MÉTODO DEL ELEMENTO FALTANTE.	56
3.3. DE LOS TRATAMIENTOS COMPLETOS.	67
<b>CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
4.1. CONCLUSIONES	73
4.2. RECOMENDACIONES	74
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	75
<b>ANEXOS</b>	82

## RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló en condiciones de vivero en el distrito de Jesús Nazareno, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho a 2750 msnm. Se evaluó el estado nutricional de trece suelos agrícolas de cinco comunidades del distrito de Kimbiri; mediante el método biológico del Elemento Faltante, así como el método químico a fin de contrastarlo y determinar los niveles de carencia N, P, K y establecer el orden de prioridad en el cual se presentan.

Para tal efecto se tomaron muestras de suelos de lotes representativos las que fueron preparadas, analizadas y sembradas con plantas de tomate como indicadora en macetas de 250 g de capacidad, durante dos meses.

Los resultados indican que el 84.6% de los suelos muestran reacción desde fuertemente ácida a ligeramente ácida; el 15.4% restantes resultan neutros, con un contenido de materia orgánica de media a alto, potasio de bajo a medio y el 100% de los suelos presentan un contenido bajo de fósforo.

Todos los suelos responden a la aplicación de N, P, K, es decir son pobres nutricionalmente con un orden de carencia de nutrientes:  $P > K > N$ .

## INTRODUCCIÓN

Las plantas crecen y se desarrollan en dos medios, uno externo (atmosférico) y otro interno que es el suelo, este último tiene como rol fundamental brindar soporte mecánico a la planta y simultáneamente representa la fuente principal de nutrientes para permitir un adecuado crecimiento y desarrollo de la misma.

Las fuentes de nutrientes que ofrece el suelo son de naturaleza diversa, no obstante se conoce como orgánicos e inorgánicos siendo clasificados en general considerando la importancia en cuanto a cantidades absorbidas como macro y micro nutrientes.

Entre los nutrientes que se absorben en mayor proporción se encuentra el Nitrógeno, Fósforo y el Potasio. Estos macronutrientes, poseen concentraciones diversas en el suelo, sin embargo su disponibilidad es dependiente entre otras características intrínsecas del pH o reacción del

suelo, que influye en la mayor o menor absorción de aquellos nutrientes por la planta.

El estado nutricional del suelo, debe ser valorado para conocer su capacidad productiva. Así los contenidos o concentración de nutrientes como por ejemplo N; P; K pueden ser medidos o determinados haciendo uso de diversos métodos entre los cuales está el método químico, siendo este muy importante por su rapidez y elevada sensibilidad por los equipos que emplea, no obstante cada uno de los protocolos en las diversas determinaciones deben estar adecuadamente comprobados y valorados.

Otro método para evaluar el estado nutricional del suelo, es el biológico; es decir a través del crecimiento y desarrollo de la planta se puede asumir presencia o ausencia del o los nutrientes. Estos métodos biológicos que se difundieron empleando macetas con pequeños volúmenes de suelo, y plantas indicadoras en condiciones de invernadero permiten ampliar los conocimientos sobre la variabilidad del suelo.

Ambos métodos permiten dar una idea del estado nutricional; cada uno con sus ventajas y desventajas, que en esta oportunidad, se realizó en suelos de selva, del distrito de Kimbiri. Se hizo uso la técnica del elemento faltante, para la determinación de la fertilidad de suelos por ser un procedimiento rápido en la detección de la carencia nutritiva del suelo, utilizando para tal efecto una planta indicadora (tomate) bajo condiciones de invernadero, con los siguientes objetivos:

1. Evaluar biológicamente el estado nutricional (N, P, K) de suelos agrícolas de cinco comunidades de Kimbiri.
2. Establecer el orden de carencia de nutrientes en la evaluación nutricional de suelos agrícolas de Kimbiri.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. GENERALIDADES.**

El desarrollo de la agricultura nacional está en función de las mejoras tecnológicas que se introduzcan en el manejo agronómico de los cultivos. El conocimiento de los nutrientes absorbidos por las plantas es una de ellas; el análisis de suelos, no solo nos ayudan a corregir deficiencias posibles de encontrarse durante la campaña, sino también para calcular en forma eficiente el uso de los fertilizantes y enmiendas, es decir permiten conocer las cantidades de nutrientes a aplicarse y el momento más apropiado para hacerlo.

Martini, (1968) establece que para conocer y practicar un abonamiento correcto de cualquier cultivo, es preciso conocer los requerimientos nutricionales de la planta y el nivel de fertilidad del suelo. Este último es muy variable dependiendo de material parental y el grado de

intemperización impuesto por los factores, clima, vegetación, topografía y manejo del terreno.

Agrega el mismo autor, que la forma más rápida, controlada y económica de encontrar el nivel de fertilidad de un suelo, es mediante la investigación en invernadero, y utilizando el método del elemento faltante.

## **1.2. EL SUELO**

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal. La producción de alimentos depende en un alto porcentaje del uso que se les dé a los suelos (Martin y Adad, 2006).

Según el concepto de Atlas y Bartha, (2002) y Nannipieri, (2003) "el suelo es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irreemplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y los microorganismos".

Su formación es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria. Los físicos implican la reducción del tamaño de las partículas sin ninguna alteración en su composición, y son causados por ciclos de hielo-deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos son originados por la separación de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la

resíntesis a compuestos sólidos estables se deben, principalmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (Budhu, 2007).

Por su parte, los cambios biológicos son realizados por la comunidad que habita en el suelo: flora (plantas), macrofauna (invertebrados), mesofauna (artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos), microfauna (protozoos y algunos nemátodos) y microbiota (bacterias, actinomicetes, hongos y algas), y el 80-90% de los procesos son reacciones mediadas por la microbiota (Nannipieri, 2003; Porta et al., 2003). Estos cambios biológicos son: la degradación y el aporte de materia orgánica, la producción de CO<sub>2</sub> en la respiración, la intervención en la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y los efectos mecánicos de los animales y las plantas, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (Porta et al., 2003).

### **1.2.1. La Fertilidad del suelo**

La fertilidad de los suelos agrícolas es una noción que no se encuentra definida globalmente con precisión y que, con frecuencia, pertenece más al lenguaje popular que al científico. De hecho, el sentido que rodea al término fertilidad, ya existía para el ser humano antes de que alguien inventara las palabras para describir el concepto (Cobertera, 1993).

La agricultura convencional considera la fertilidad como la aptitud de un suelo para suministrar nutrientes para el crecimiento de las plantas. El enfoque agroecológico, considera la fertilidad como la capacidad de un suelo de cultivo de mantener de manera perdurable, un nivel de producción estable y de calidad, conservando un estado de alta estabilidad frente a los procesos que implican su degradación además de un alto grado de resiliencia; y todo ello dentro de una amplia gama de condiciones agroambientales, socioeconómicas y culturales.

Por lo tanto asume la fertilidad a nivel global como expresión del estado de los componentes y de los procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo en un contexto ambiental y socioeconómico determinado. Nuestras actuaciones para el manejo eficiente de la fertilidad deben ir enfocadas en primera estancia al conocimiento de los parámetros que la determinan y posteriormente a las interacciones entre esos parámetros con los componentes no edáficos del agrosistema. En general debemos destacar como en la cuantificación de la fertilidad, “el lenguaje agrícola suele confundir, el análisis del suelo propiamente dicho con el proceso de diagnóstico de la fertilidad e incluso con la gestión de ésta, es decir se confunde la finalidad con el medio para alcanzarla” (Saña, 1996).

En la práctica agroecológica debemos considerar la fertilidad desde todos sus ámbitos: Desde la fertilidad física, que valora al suelo como un soporte material adecuado de la raíz, haciendo también referencia a la dinámica de los fluidos agua y gases a su través. Desde el punto de vista

físico, el suelo ha de proporcionar un medio adecuado a la germinación de las semillas y al desarrollo óptimo del aparato radicular; debe poseer una buena aireación, y una termicidad estable, una capacidad de retención hídrica apropiada, junto con un régimen de circulación de agua, que posibilitando un buen drenaje, no llegue a provocar un lavado excesivo así como una estructura estable que implique resistencia frente a procesos erosivos (Saña, 1996).

Prácticamente todos los requisitos descritos son función de la textura del suelo, del grado de desarrollo de su estructura y de la estabilidad de ésta, la consecuencia de todo ello, dará como resultado otras propiedades como porosidad, permeabilidad, densidad, etc.

Desde la fertilidad química, que define a la vez el estado físico-químico del medio y la importancia de la reserva y la disponibilidad de elementos asimilables. En el contexto físico-químico y químico, un suelo debe mantener una reserva adecuada de nutrientes en un estado de disponibilidad tal que permita su utilización por el vegetal y que cubra las necesidades del medio microbiano sin que se produzcan pérdidas. Aspectos descritos por el pH, el potencial redox, la capacidad de intercambio, el contenido en macro y micronutrientes, etc.

Las estrategias que van unidas a la optimización de la fertilidad química, están relacionadas con un adecuado grado de fertilidad física que permita un medio óptimo para que se den los múltiples mecanismos de la

dinámica de los ciclos de nutrientes, una adecuada dinámica del oxígeno y del agua y una adecuada fertilidad biológica en relación a una reserva orgánica y a una actividad edáfica capaz de activar los procesos de biodegradación y la biodisponibilidad de los nutrientes (Zavaleta, 1992).

Desde la fertilidad biológica, que caracteriza la magnitud y el estado de la reserva orgánica, así como la abundancia y actividad de la biomasa edáfica. Es evidente que la evolución de las materias orgánicas en el suelo depende del estado físico y físico-químico del medio, y de la actividad biológica, relacionada en gran parte con la composición bioquímica de la materia orgánica. En este sentido, además de su cuantificación, se han desarrollado métodos enfocados a la caracterización de las diferentes fracciones de la materia orgánica.

En cuanto a parámetros relacionados con el medio vivo, los estudios sobre fertilidad biológica abordan la cuantificación de esta biomasa y de su vitalidad. En este sentido, se proponen una serie de determinaciones enzimáticas como respuesta a la potencialidad de un suelo para desarrollar determinadas actividades, y por ende, cómo índice de fertilidad –calidad- del suelo. Sin embargo, mientras la actividad enzimática es sensible a los efectos provocados por determinados manejos del suelo, los cambios experimentados en las actividades enzimáticas no se manifiestan como estables, de ahí que sólo pudiera ser considerada la actividad enzimática como indicador de poblaciones microbianas activas y

esa propiedad, en cierta manera, puede ser suministrada por la tasa de respiración.

La utilización de la fauna edáfica como indicador de fertilidad del suelo, es también importante ya que su actividad puede influir en la tasa de descomposición de la materia orgánica, en el suministro de nutrientes, la infiltración, la conductividad hidráulica, la deposición de solutos a través del suelo, etc. La medida de parámetros tales como abundancia, diversidad o actividad de la fauna edáfica puede también ser considerados.

Todos los parámetros que participan en la fertilidad global del suelo a nivel edáfico, están íntimamente relacionados habiendo componentes que influyen sobre todos los ámbitos de la fertilidad como es el caso de la materia orgánica y el agua; y a su vez, todos ellos se ven afectados por otros componentes -climáticos, biológicos, geográficos, antrópicos, etc.

### **1.2.2. Evaluación de la fertilidad del suelo**

La evaluación de la fertilidad del suelo es muy compleja, por la diversidad de condiciones químicas, físicas, y biológicas que interactúan. A pesar de que no es posible medir de manera absoluta el nivel de fertilidad de un suelo, el desarrollo progresivo de técnicas, procedimientos y la interpretación de los resultados de los análisis de suelos, hace posible predecir, con cierto grado de seguridad (Palomino, 1987).

Diversas técnicas que se emplean comúnmente tiene como indicador del grado de fertilidad de un suelo:

- ✓ Síntomas de deficiencia de Nutrientes en las plantas.
- ✓ Análisis foliar o de los tejidos de las plantas que crecen en el suelo.
- ✓ Pruebas biológicos
- ✓ Análisis químicos del suelo.

### **1.2.3. Síntomas de deficiencia de nutrientes en las plantas.**

Muchos de los métodos para la evaluación de la fertilidad de un suelo se basan en las observaciones o en las medidas del crecimiento de las plantas. Estos métodos tienen un mérito considerable porque las plantas actúan como integradoras de todos los factores de crecimiento y son los productos que interesan al agricultor.

Las anomalías en el crecimiento de las plantas pueden deberse a deficiencia de uno o más elementos nutritivos. Si una planta carece de un elemento determinado, deben aparecer síntomas característicos, en mayor o menor número. Además las deficiencias en Nutrientes tienen un efecto notable sobre la extensión y el tipo de crecimiento de la raíz (Tisdale y Nelson, 1977). La evaluación de la fertilidad de un suelo por el método de síntomas de deficiencia es el único método que no requiere un equipo caro y especializado y puede ser utilizado como un suplemento de las técnicas para el diagnóstico de síntomas que se basan en las observaciones o en las medidas del crecimiento de las plantas.

#### **1.2.4. Análisis de los tejidos de las plantas que crecen en el suelo**

Se realiza sobre toda la planta o sobre diversas partes de la misma. Se emplean técnicas analíticas precisas para medir los diversos elementos después que el material vegetal se ha secado, triturado e incinerado. Los métodos químicos son sustituidos progresivamente por técnicas espectrográficas, con las cuales se pueden determinar simultáneamente los diecisiete elementos, y de este modo se ahorra una considerable cantidad de tiempo (Wu et al., 1997).

Evidentemente, con estos métodos cuantitativos se pueden detectar muchas más diferencias pequeñas que con los análisis de tejidos. Se incluyen los nutrientes asimilados y los no asimilados con el análisis total se pueden determinar muchos elementos, como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, manganeso, cinc, boro, cobre, hierro, molibdeno, cobalto, sílice y aluminio. Como en los análisis de tejidos, la parte de la planta seleccionada es de primordial importancia. Las pruebas indican que es preferible el material que haya madurado recientemente.

#### **1.2.5. Pruebas biológicas**

El empleo del conocimiento del crecimiento de las plantas tiene mucha importancia en el estudio de los requerimientos de fertilizantes, y se ha dedicado una gran atención a este método para medir el estado de fertilidad de los suelos.

Los aspectos más difíciles del proceso de evaluación de fertilidad del suelo son la correlación, interpretación y las recomendaciones de fertilizantes debido a la complejidad del fenómeno involucrado. Un análisis de suelo por sí no tiene valor; es una cifra empírica que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutrimento en forma indirecta. El valor de análisis de suelo se torna útil solamente cuando se correlaciona con la respuesta del cultivo.

Un avance muy importante en este tema tuvo lugar con el desarrollo del método Cate-Nelson (Cate y Nelson, 1965). El método gráfico simple consiste en marcar con puntos los rendimientos relativos (porcentajes del máximo). En función del análisis de suelo, en vez de intentar adecuar una función matemática continua a través de los puntos diseminados, se usa una hoja transparente de superposición dividida en cuadrantes por líneas horizontales y verticales (X - Y). Esta se superpone sobre los datos de manera que el mayor número de puntos caigan en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho y derecho inferior. El punto en que la línea vertical corta el eje "X" se considera que es el nivel crítico para el método de análisis de suelo bajo consideración. El punto en que la línea horizontal corta el eje "Y" separa a los suelos de respuesta baja. Por tanto, el nivel crítico divide los puntos con probabilidad de una respuesta de rendimiento grande, de los con poca probabilidad de que se obtenga respuesta.

### **1.3. TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE**

La técnica del elemento faltante o aditivo es un procedimiento rápido para la detección de carencia de nutrientes en el suelo, el cual incluye el uso de Plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o en campo (Sánchez, 1981)

Ésta técnica, se clasifica como un método biológico en el cual se usan plantas para la evaluación del comportamiento de las mismas a la variabilidad nutritiva de los suelo (Henriquez et al., 1995) (Briceño y Pacheco, 1984) sostienen que el objetivo principal de esta práctica es el de establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo.

La técnica del elemento faltante es un procedimiento que permite generar y caracterizar las deficiencias nutricionales en las plantas; en éste el tratamiento testigo recibe todos los elementos esenciales en los niveles e intervalos de tiempo adecuado.

El tratamiento de eliminación consiste en excluir el elemento que se está investigando, mientras que todos los demás se están proporcionando de manera adecuada, lo que hace posible comparar los elementos (Schenkel et al., 1970).

#### **1.4. LOS ELEMENTOS ESENCIALES EN LA PLANTA.**

Son aquellos elementos que la planta requiere para un óptimo desarrollo y complementar su ciclo de vida, Para que un elemento sea esencial debe considerar los siguientes aspectos: los síntomas de deficiencia debe ser corregidos únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente ,o sea que el elemento en cuestión no debe ser sustituido o reemplazado totalmente por ningún otro elemento. Y un segundo aspecto es con la ausencia del elemento e cuestión no es posible un desarrollo normal de la planta y esta es incapaz de completar su ciclo vital. Un tercer aspecto es que las funciones o su influencia sobre el metabolismo deben ser conocidas. Y por último el elemento debe tener una acción directa en la nutrición de la planta, lo cual significa que no debe actuar a través de variaciones en el sustrato (Arnon y Stout, 1939).

Cuando un elemento esencial es eliminado del medio nutritivo, primero el crecimiento se detiene y luego ocurre la muerte, pero antes de que la planta muera hacen su aparición síntomas de deficiencia (clorosis, necrosis, malformaciones) los cuales reflejan un estado de decadencia en las plantas (Alcázar et al., 2007).

La clasificación de macro y micro nutrientes simplemente está basado en la cantidad requerida por las planta, todos los nutrientes son igualmente importantes para el crecimiento de las plantas. Los macro nutrientes juegan un papel principal en la estructura de la planta, mientras que los

micro nutrientes están principalmente involucrados en los procesos enzimáticos (Fageria et al., 1991).

Tres elementos (C, H y O) se obtienen del aire o agua y componen aproximadamente el 95% de la planta. Mientras que los otros nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl y Mo) se encuentran en forma iónica en la solución del suelo, con carga positiva (catión) o negativa (anión) y no son normalmente absorbidos por medio de las raíces.

#### **1.4.1. El nitrógeno**

##### **a). Contenido de nitrógeno en el suelo**

El contenido de N total en los suelos presenta un amplio ámbito, pero es común el comprendido entre 0.2 y 0.7% para la denominada capa arable (Fassbender, 1984). El porcentaje tiende a disminuir al aumentar la profundidad del perfil. Dentro de los factores de formación del suelo, el clima es el que influye más directamente en el contenido total del N, cuyo porcentaje tiende a incrementarse al disminuir la temperatura y al aumentar la precipitación, dentro de ciertos límites.

El contenido de materia orgánica y N está relacionado con el origen de los suelos. Los suelos de las regiones bajas, en su mayoría, tienen un contenido de N de mediano a bajo. Los suelos de cenizas volcánicas se caracterizan por tener valores altos de N. Por ejemplo, en suelos de origen volcánico en América Central, en el horizonte A, se tienen valores de 0.4 a 0.5% de N.

Además, está asociado en forma directa al C, en función de la relación C/N. Esta relación, en condiciones de suelo normal tiene un valor entre 10 y 20; en casos extremos puede llegar hasta 30. Suelos con alto contenido de materia orgánica, naturalmente, tienen un alto contenido de N. Un suelo con un contenido de materia orgánica mayor del 4% puede ser clasificado como un suelo altamente húmico (Fassbender, 1993).

#### **b). Componentes del nitrógeno en el suelo.**

##### **Nitrógeno orgánico.**

Estiércol y plantas, microorganismos y animales muertos en descomposición, son importantes fuentes de nitrógeno para el suelo. Si bien, la mayor parte de este nitrógeno es insoluble y no está disponible de inmediato para que lo utilicen las plantas. Esta fracción orgánica se abastece también de este elemento a partir de microorganismos fijadores de N atmosférico en forma a simbiótica y de la inmovilización de la fracción soluble que realizan los microorganismos (Salisbury y Ross, 1994; Bertsch, 1995), y representa comúnmente, entre el 85 y el 95 % del N total (Fassbender, 1984).

##### **Nitrógeno inorgánico**

El primer producto resultante de la descomposición de la materia orgánica (mineralización) es el  $\text{NH}_4^+$ , proveniente de la descomposición de proteínas, aminoácidos y otros compuestos. Las tres formas inorgánicas más importantes,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  representan generalmente del 2 al

5% del N total del suelo. La fuente de  $\text{NH}_4^+$  proviene de la mineralización del N orgánico y de los fertilizantes (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Los porcentajes de N mineral tienden a ser más altos en suelos de regiones áridas y semiáridas, y los valores menores corresponden a suelos volcánicos. El N inorgánico se presenta como óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}^-$ ), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2^-$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3^+$ ) en cantidades mínimas, además como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) (Fassbender y Bornemisza, 1987).

El N atmosférico existe en forma elemental libre ( $\text{N}_2$ ) y en cualquiera de sus otras formas gaseosas ( $\text{N}_2\text{O}^-$ , NO,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_3^+$ ).

### **c). Disponibilidad del nitrógeno con relación al pH**

Uno de los caracteres fisiológicos notables de la solución del suelo es su reacción y de cómo los microorganismos y las plantas superiores están muy supeditadas a su ambiente químico; desde hace mucho tiempo se presta gran atención a la reacción del suelo; es decir, si es ácida, neutra o alcalina (Lyttletton y Buckman, 1952; Mela, 1963).

Algunas soluciones del suelo tienen un promedio mayor de iones hidrógenos sobre los hidroxilos y por tanto son ácidas. Otras, por el contrario, son alcalinas, y también hay soluciones que tienen una misma concentración de iones hidrógenos e hidroxilos y por tanto son neutras.

En cualquiera de esos casos la relación se mide en términos de concentración de iones hidrógenos, y se expresa logarítmicamente en valores de pH. De modo que la acidez del suelo (pH) es menor que 7. Contrariamente, la alcalinidad del suelo indica una concentración de iones hidroxilos en la solución, y tiene un pH mayor que 7.

La reacción del suelo tiene una gran influencia sobre la disponibilidad de los nutrientes vegetales, que suele ser más elevada entre pH 6.5 y 7.5

Los iones  $H^+$  parecen tener influencia considerable no solamente por la solubilidad, sino también sobre la facilidad con que los elementos nutritivos son absorbidos y utilizados por las plantas, aun cuando sean fácilmente solubles. Un buen ejemplo de esto es la influencia sobre la utilización del N amoniacal y de nitratos por las plantas. Con un pH mayor que 6, las sales de amonio son utilizadas con mayor facilidad, pero en suelos que son moderada o fuertemente ácidos, aparentemente se absorben con mayor facilidad los nitratos. La actividad biológica es también mayor en niveles intermedios de pH (alrededor de pH 7), de manera que se incrementa la descomposición de la materia orgánica del suelo y la liberación de nutrientes como el nitrógeno (FAO, 1986).

El nitrógeno es esencial en la división y expansión celular, por lo tanto en el crecimiento. El nitrógeno es móvil en la planta, por lo que se desplaza de los tejidos maduros a los tejidos jóvenes, de tal manera que una deficiencia es primeramente visible al inicio en las hojas más adultas. Este

elemento se suele manifestar como una detención general del crecimiento y desarrollo de la planta, amarillamiento difuso del follaje, disminución de la floración y fructificación (Gardner et al., 1990).

#### **1.4.2. El fósforo**

El P, después del N, es el nutriente que más frecuentemente afecta la producción de los cultivos. El P forma parte de enzimas, ácidos nucleicos y proteínas y está involucrado en prácticamente todos los procesos de transferencia de energía. El contenido de P en el suelo está definido por el material madre y, en general, se ha observado un marcado efecto del clima, siendo las zonas más húmedas, las más deficientes en este nutriente (Tisdale et al., 1993).

La concentración de iones fosfato en la solución del suelo está relacionado con el pH del medio. Entre 2 y 7, predominan los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y entre 7 a 12, iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^{=}$ . La concentración de fosfato monobásico es máximo a pH 4 y mínimo a pH 9, lo contrario ocurre con el fosfato di básico. Los dos iones se encuentran en equilibrio un pH de 7.2. Entre el pH 5.5 a 6.0, la solución acuosa del suelo contiene la máxima concentración de fosfato monobásico; estando en equilibrio con los fosfatos de Fe, Al y Ca (Thompson, 1974).

El P se absorbe principalmente por las raíces desde la solución del suelo como iones ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}$  y en menor medida como  $\text{HPO}^{2-}$ ). Las plantas en crecimiento no almacenan iones fosfatos, exigiendo una

abundante provisión desde el suelo. Por supuesto las plantas que no obtienen de manera suficiente el P necesario, sufren importantes retardos en su crecimiento. Los síntomas más típicos son la coloración verde oscura-azulada en los cereales, disminución de la tasa de formación de frutos y semillas, y un retraso en la maduración y finalización del ciclo. Los cultivos de alta producción demandan una gran cantidad de P, un factor clave para lograr alto rendimientos es mantener a toda la planta bien nutrida de P. La producción sustentable de cultivos requiere programas de fertilización fosforada que sean capaces al menos de responder las cantidades extraídas de los campos (Jhonston, 2000).

El P es uno de los nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, junto con el N y el K conforman el grupo de macronutrientes por las cantidades requeridas por los cultivos y por la frecuencia con que se encuentran en cantidades deficientes para los cultivos (García, 2001).

El fósforo se presenta en concentraciones extremadamente bajas en la solución del suelo. Es un constituyente esencial en los compuestos que transfieren energía (ATP y nucleoproteínas), el sistema de información genética (ADN y ARN), membrana celular (Fosfolípidos) y Fosfoproteínas. La deficiencia de fósforo retarda el crecimiento y produce coloración morada en el follaje de algunas plantas debido a que acumulan gran cantidad de azúcares en los tejidos, lo que ocasiona un notable aumento de los pigmentos morados llamados antocianinas (Gardner et al., 1990).

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

Los síntomas de deficiencia de fosforo en tomate se presenta en las hojas de un color rojo a purpura y retarda la división celular. Su exceso provoca la inmovilización de otros elementos esenciales (Raymond, 1984)

### **1.4.3. El potasio**

La litósfera contiene en promedio 1,9% de este elemento. La concentración de K en el suelo (1,2%), es inferior a la de la litósfera, como consecuencia de su meteorización; en este sentido, los suelos jóvenes y poco meteorizados, tienen altos niveles de  $K^+$ . Los suelos orgánicos son pobres en su contenido (menor de 0,03%), dado su bajo nivel de minerales (Barber, 1995).

La mayor parte de K de la corteza terrestre se encuentra unido a minerales primarios o está presente en las arcillas secundarias que conforman ampliamente la fracción arcillosa. Los suelos arenosos muy meteorizados contrastan marcadamente con los suelos jóvenes derivados de materiales volcánicos, en los que los contenidos de arcilla y de K son generalmente altos (Mengel y Kirkby, 2000).

Los minerales que generalmente se consideran como fuentes originales de K en su orden de disponibilidad son biotita>muscovita>feldespatos

potásicos. Estos presentan la siguiente composición: biotita:  $K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}$ , feldspatos potásicos:  $KSi_3AlO_8$  y la muscovita  $(SiO_4)_3H_2Al_3K$ . Otras formas minerales son silvina:  $KCl.NaCl$  y carnalita:  $KCl.Cl_2Mg.6H_2O$ ; también puede estar presente en ilitas, vermiculitas, cloritas, entre otros minerales (Navarro y Navarro, 2003).

En el suelo el K puede clasificarse en las siguientes cuatro categorías: I)  $K^+$  de la solución, II)  $K^+$  intercambiable, III)  $K^+$  difícilmente intercambiable, y IV)  $K^+$  mineral (Barber, 1995; Havlin, 1999). (Navarro y Navarro, 2003) adicionan a las anteriores la forma orgánica y establecen la siguiente clasificación basada en su disponibilidad: no asimilable, lentamente asimilable y rápidamente asimilable.

(Havlin et al., 1999), basándose en la anterior clasificación reportan los siguientes valores para la concentración de K: mineral 5000–25000  $mg. kg^{-1}$ , no-intercambiable 50–750  $mg. kg^{-1}$ , intercambiable 40–600  $mg. kg^{-1}$  y en solución 1–10  $mg. kg^{-1}$ .

La forma más disponible es el  $K^+$  de la solución, seguido por el intercambiable. Otras dos formas en orden de disponibilidad son el K no-intercambiable que reside en las intercapas de las arcillas tipo 2:1, y la forma mineral (Bohn et al., 2001).

El  $K^+$  también puede estar fijado en el suelo. Este proceso ocurre predominantemente en las arcillas 2:1 y en grandes cantidades en illita,

limitando su disponibilidad para las plantas. La fijación consiste en una fuerte retención del ión  $K^+$  en las capas laminares de estas arcillas. El  $K^+$  de la solución del suelo, el liberado de los minerales o proveniente de la fracción intercambiable, es atrapado firmemente por fuerzas electrostáticas entre las láminas de las arcillas debido a que es suficientemente pequeño. Sólo el  $NH_4^+$ , por tener un radio iónico similar, puede competir con el  $K^+$  por estos sitios de retención. Esta forma de  $K^+$  es lentamente asimilable para las plantas (Bohn et al, 2001).

Entre los factores que determinan la disponibilidad de  $K^+$  se encuentran: cantidad y tipo del mineral arcilloso, CIC, contenido de  $K^+$  intercambiable, capacidad del suelo para fijar el  $K^+$ , la humedad, la temperatura, la aireación y el pH del suelo (Havlin et al., 1999).

La absorción de potasio por las raíces ocurre en forma iónica  $K^+$  (Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 2000). Su contenido exhibe una alta variabilidad, dependiendo de la especie y el órgano que se considere; en este sentido (Navarro y Navarro, 2003) cita los valores reportados por Demolón, (1972), con un rango muy amplio entre 0,35 a 7,1, expresado como porcentaje de  $K_2O$  de la materia seca.

El  $K^+$  es considerado el catión más importante en la fisiología de las plantas, no solo por su contenido en los tejidos vegetales, sino por las funciones que desempeña. Su velocidad de absorción es alta, como consecuencia de la permeabilidad selectiva de las membranas vegetales;

hecho que propicia la difusión facilitada (tanto de ingreso como de salida) de este nutriente para diversos procesos fisiológicos, entre los cuales se pueden citar: crecimiento meristemático, estado hídrico, fotosíntesis y transporte a larga distancia (Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 2000).

El  $K^+$ , a diferencia de otros nutrientes no hace parte constitutiva de los principios esenciales (prótidos, lípidos y glúcidos), sino que tiende a permanecer en forma iónica. Debido a la gran movilidad que lo caracteriza actúa básicamente neutralizando ácidos orgánicos que resultan del metabolismo, y así asegurar la constancia de la concentración de  $H^+$  en los jugos celulares (Navarro y Navarro, 2003).

El K es esencial en la translocación de azúcares y la formación de almidón. Las células oclusivas de los estomas lo requieren para su apertura y cierre, proceso importante en la eficiencia hídrica. El K estimula el crecimiento radical y mejora la resistencia de los cultivos a enfermedades; además, favorece la formación de vasos xilemáticos más grandes y distribuidos de una manera más uniforme en todo el sistema radical y mejora la calidad de las cosechas (Soil improvement committee California plant health association, 2004).

De acuerdo al mismo comité anterior, los síntomas de la deficiencia de K se relacionan con los siguientes eventos: i) crecimiento lento, ii) clorosis/necrosis en márgenes y ápices foliares, a partir de las hojas más viejas, iii) tallos débiles y iv) frutos pequeños o semillas arrugadas.

Ante situaciones de deficiencia, el  $K^+$  se moviliza rápidamente desde los tejidos más maduros hacia los más nuevos con el fin de suplir los requerimientos nutricionales, y es por ello que los síntomas se manifiestan primero en las hojas viejas.

Las plantas bien alimentadas con potasio pierden poca agua ya que el potasio incrementa el potencial osmótico y tiene una influencia favorable en el cierre estomático. También sirve para balancear las cargas de los aniones y tienen influencia en su toma y transporte (Gardner et al., 1990).

### **1.5. SÍNTOMAS FOLIARES DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES.**

Con frecuencia el crecimiento o la producción de un cultivo son disminuidos por la falta de algún nutriente, lo cual ocasiona lo que se conoce como síntomas de deficiencias. Esto ocurren por que los niveles de uno o más elementos son inadecuados para asegurar el crecimiento y sobre todo la coloración normal de la hoja (Barnard, 1991).

También se puede presentar el caso opuesto, una concentración excesiva de nutrientes ocasiona una toxicidad. Las plantas responden a la deficiencia de un elemento esencial presentando síntomas característicos. Tales síntomas son apreciables a simple vista e incluye: disminución del crecimiento de raíces, tallos u hojas; acumulación de antocianina, lo cual provoca una coloración rojiza; inhibición del crecimiento de las yemas terminales lo cual ocasiona un “arrosetamiento”; y clorosis o necrosis de varios órganos (Salisbury y Ross, 1994).

La clorosis o amarillamiento del tejido vegetal puede presentarse en hojas jóvenes, así como observarse de forma generalizada en la hoja y nervaduras o también encontrarse solamente en la superficie foliar y las nervaduras permanecer verdes (Sánchez et al., 2007).

La clorosis por deficiencia nutricional puede presentarse por disminución en la síntesis de la clorofila o degradación de la clorofila por fotólisis (Vergara ,1989).

La necrosis es una muerte del tejido vegetal, su coloración es típica y puede ser de color verde, café o negra dependiendo del estado en que se encuentre la hoja al presentarse la deficiencia y la rapidez con que el tejido muera. El síntoma de necrosis es provocado por que el citoplasma se plasmolisa y la célula muere dando lugar a que el parénquima se contraiga generando el punto necrótico de color oscuro en la mayoría de los casos (Vergara, 1989).

La movilidad del nutriente en las plantas hace que se desarrollen determinados síntomas de deficiencia. Los elementos móviles (N, P, K, Mg) se presentan principalmente en las hojas adultas (basales) y las alteraciones por deficiencia de los nutrientes restantes, los elementos inmóviles (Fe, Cu, Mn, Zn, Ca, S, Cl, B, Mo y Ni) en hojas jóvenes (retoño), esto debido principalmente a su movilidad dentro de las plantas. Los nutrientes pueden ser clasificados, según su movilidad: en móviles, medianamente móviles e inmóviles. También se menciona que estos

pueden ser fácil, mediana o difícilmente reutilizables por la planta, de tal manera que los nutrientes fácilmente reutilizables pueden ser transportados desde las hojas adultas a las hojas jóvenes u órganos de mayor demanda (Sánchez et al., 2007).

### **1.5.1. Diagnóstico visual**

El diagnóstico visual es un método sencillo y rápido que permite evaluar las alteraciones nutricionales de los cultivos, directamente en el campo. El principio de este método consiste en comparar el aspecto de una muestra vegetal afectada con una muestra patrón (normal o sin síntomas aparentes). En la mayoría de los casos se comparan las hojas (órganos indicador), sin embargo, también se pueden comparar, raíces, frutos, tallos y otros órganos de la planta (Sánchez et al., 2007).

Para realizar un diagnóstico visual *in situ* se debe tener en cuenta, el determinar que órgano de la planta presenta síntomas; comparar las evidencias observadas con síntomas característicos de algunos nutrientes; y descartar la posibilidad de que los síntomas observados sean causados por agentes bióticos (plagas o enfermedades) o ambientales (temperatura, radiación y humedad) (Sánchez, 2007).

Cuando un elemento esencial es eliminado del medio nutritivo, primero el crecimiento se detiene y luego ocurre la muerte, pero antes de que la planta muera hacen su aparición síntomas de deficiencia (clorosis,

necrosis, malformaciones) los cuales reflejan un estado de decadencia en las plantas (Alcázar y Trejo, 2007).

## **1.6. EL CULTIVO DE TOMATE**

### **1.6.1. Origen, domesticación y distribución geográfica del tomate**

El origen del género *Lycopersicum* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. En la actualidad todavía crecen silvestres las diversas especies del género en algunas de las zonas de la región antes mencionada (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez et al., 2001). La planta fue llevada por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Rodríguez et al., 2001).

El centro de domesticación del tomate ha sido controvertido; sin embargo, se cree que el origen de su domesticación es México, porque existe mayor similitud entre los cultivares europeos y los silvestres de México que con los de la zona andina. A la llegada de los españoles a América el tomate estaba integrado a la cultura azteca. Además el nombre moderno tiene su origen en la lengua Náhuatl de México donde se le llamaba "tomatl" (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez et al., 2001).

En la actualidad en el centro de México se sigue utilizando mayoritariamente la palabra jitomate quizás porque los aztecas lo nombraban "Xic-tomatl", para aludir al fruto de *Lycopersicum esculentum* (Cruces, 1990). Además, no ocurre esto en otras partes del país y del

mundo. Los españoles y portugueses difundieron al tomate por todo el mundo a través de sus colonias ultramarinas, posteriormente contribuyeron a ello otras potencias y países (Esquinas y Nuez, 2001).

El tomate fue introducido en Europa en el siglo XVI. Al principio, se cultivaba solo como planta de adorno. A partir de 1900, se extendió el cultivo como alimento humano. La planta es potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Rodríguez et al., 2001). El tomate se cultiva en las zonas templadas y cálidas. Se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas, métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad (Chamarro, 2001).

### **1.6.2. Descripción botánica**

De acuerdo con Hernández, (2011) las plantas de tomate son herbáceas perennes, aunque en su hábitat natural muy probablemente se comportan como anuales y pueden morir después de la primera estación de crecimiento debido a las heladas o la sequía. La inflorescencia básica es una cima típicamente amarillas, las anteras están unidas lateralmente para formar un cono en forma de botella. El tamaño del fruto, el color y pubescencia son variables, al igual que el tamaño de las semillas, el color y el desarrollo de las paredes radiales de las células de la testa. Las frutas son bayas generalmente bilocular en las especies silvestres, y bilocular o multiloculares en el las variedades cultivadas.

Según el hábito de crecimiento, se pueden distinguir dos tipos distintos: los determinados y los indeterminados. La planta de crecimiento determinado es de tipo arbustivo, de porte bajo, pequeño y de producción precoz. Se caracteriza por la formación de las inflorescencias en el extremo del ápice. El tomate de tipo indeterminado crece hasta alturas de dos metros o más. El crecimiento vegetativo es continuo. Unas seis semanas después de la siembra inicia su comportamiento generativo, produciendo flores en forma continua y de acuerdo a la velocidad de su desarrollo. La inflorescencia no es apical sino lateral. Los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de la planta de tomate dependen de las condiciones del clima, del suelo y de las características genéticas de la variedad (Von Haeff, 1983).

### **1.6.3. Clasificación taxonómica**

De acuerdo a Hunziker, (1979) la taxonomía generalmente aceptada del tomate es:

Clase : Dicotiledóneas.  
Orden : Solanales (Personatae).  
Familia : Solanaceae.  
Subfamilia : Solanoideae.  
Tribu : Solanae.  
Género : Lycopersicon.  
Especie : Esculentum

#### **1.6.4. Morfología de la planta de tomate**

##### **a). Raíz**

La planta presenta una raíz principal pivotante (que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad), simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen.

El sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad, y se estima que un 75% del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm superiores del terreno (Rodríguez et al., 2001).

##### **b). Tallo**

El tallo es erguido y cilíndrico en planta joven, a medida que ésta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Presenta tricomas (vellosidades) en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática. El tallo puede llegar a medir de 40-250 cm (Rick, 1978; Valadéz, 1990).

Cuando la ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en consecuencia el crecimiento vertical, en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma también una nueva rama dando origen a un crecimiento ilimitado (Garza, 1985).

### **c). Hojas**

Las hojas son cortas, de tamaño medio o largas y tipo patata (George, 1999). Son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos. El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. En tomates más rústicos el tamaño de sus hojas es más pequeño (Huerres y Caraballo, 1988). La disposición de nervaduras en los folíolos es penninervia (Rodríguez et al., 2001; Garza, 1985).

### **d). Flor**

La flor se presenta formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima multípara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por racimo. Se precisan de 56-76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales (Rodríguez et al., 2001).

El cáliz está compuesto de seis sépalos y la corola de seis pétalos amarillos. Los estambres, en un número de seis, se reúnen formando un tubo alrededor del gineceo (Curtis, 1996).

### **e). Fruto**

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa

contiene una proporción del 33% del peso fresco del fruto (Rodríguez et al., 2001).

#### **f). Semilla**

La semilla es de diferentes tonalidades en su color, desde el grisáceo, hasta el color paja de forma oval aplastada; tamaño entre 3-5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud, y cubierta de vellosidades. En un gramo puede haber de 300-350 semillas (Rodríguez et al., 2001; Huerres y Caraballo, 1988). El peso de 1000 semillas es de aproximadamente 2.4 g (Desai et al., 1997).

### **1.6.5. Requerimientos ambientales en el cultivo del tomate.**

#### **1). Temperatura**

La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta como la: transpiración, fotosíntesis, germinación, entre otras. Es una planta de clima cálido que requiere de mucho calor; para el tomate, las temperaturas óptimas según el ciclo de vida son las siguientes: temperaturas nocturnas entre 15 y 18 °C temperaturas diurnas 24 a 25 °C y temperatura ideal en la floración de 21 °C (Rodríguez, 2001). Los principales agentes del medio físico, como la temperatura, la luz y la humedad juegan un papel importante para que los procesos fisiológicos de “cuajado” y “amarre” de fruto se produzcan de forma normal (Maroto, 2002).

La temperatura óptima para la maduración del fruto es entre 18-24 °C al respecto (Salunkhe y Kadam, 1998), mencionan que el rango óptimo es entre 15-20 °C. Por otro lado, si la temperatura es menor a 13 °C los frutos tienen una maduración muy pobre; situación similar sucede cuando la temperatura es mayor a 32 °C debido a que la coloración roja (licopeno) es inhibida y los frutos se tornan amarillos (Valadéz, 1990).

## **2). Luz y fotoperiodo**

La planta de tomate se desarrolla mejor con alta intensidad luminosa, cuando ésta es baja, se afecta la apertura de las estomas y disminuye el número de éstos por milímetro cuadrado.

La luminosidad tiene gran influencia tanto en la fotosíntesis como en el fotoperiodismo, así como en el crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos; en virtud de que el rendimiento de fruto está positivamente relacionado con la cantidad de radiación solar recibida por el cultivo y el ciclo del mismo (Wien, 1997; Rodríguez et al., 2001).

## **3). Humedad del suelo y humedad relativa**

La exigencia del tomate en cuanto a la humedad del suelo es media, influye sobre todo en el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50%, y suelos no encharcados (Rodríguez et al., 2001). Los periodos críticos de humedad en las plantas de crecimiento determinado son:

después del trasplante, poco consumo de agua; en floración e inicio de fructificación, gran demanda de agua; en la etapa de maduración de fruto, poco consumo de agua (Huerres y Caraballo, 1988). La disponibilidad de agua, también puede afectar la formación de flores y posteriormente la disminución

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en un vivero adaptado en el distrito de Jesús Nazareno, Provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho a 2750 msnm.

#### **2.2. PROCEDENCIA DE MUESTRAS.**

Las muestras evaluadas fueron procedentes de cinco comunidades del distrito de Kimbiri, ubicados en el margen derecho del río Apurímac - VRAEM, en la provincia de La Convención, Departamento de Cusco.

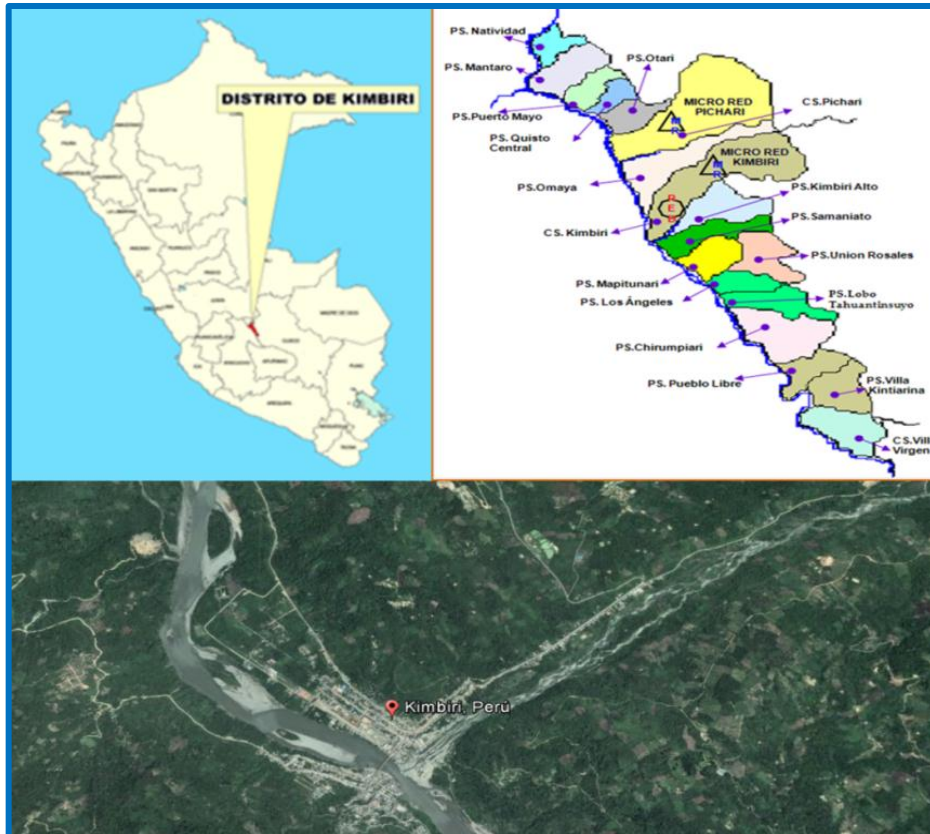
Geográficamente ubicado en el cuadrángulo:

Latitud Sur : 12° 29" 18'

Longitud Norte : 73° 50" 30'

## Límites:

- Norte : Distrito de Pichari
- Sur : Distrito de Vilcabamba
- Este : Distrito de Echarate
- Oeste : Departamento de Ayacucho



Fuente: PDC Kimbiri/google

## 2.3. ASPECTOS FÍSICOS DEL DISTRITO DE KIMBIRI

### 1). Altitud

La altitud del distrito es comprendida entre los 540 - 3000 msnm.

### 2). Clima

De la información hidrometeorológica disponible en la zona se tiene que las precipitaciones fluctúan entre 1,800 a 2,200 mm/anuales; siendo más

intensas en los meses de diciembre - abril y las mínimas podrían ser de 500 a 700 mm/mensuales, en los meses de junio agosto; las lluvias están influenciadas por los vientos del este, noreste y sur que traen consigo nubes húmedas, provenientes de la llanura amazónica. Con temperaturas promedio de 25 °C (octubre-febrero) y mínimas hasta 19 °C (Mayo a Julio). La radiación solar diaria en promedio fluctúa entre 280 a 450 cal/g/cm<sup>2</sup>, que satisface plenamente la demanda energética de los cultivos. La evaporación resultante es del orden de 700 – 1,400 mm/año, dejando mucha agua disponible para ser usado por la planta o para infiltrarse a través del suelo, la humedad relativa promedio es de 85%. Por lo mencionado anteriormente la denominación climática es de clima tropical.

### **3). Recurso forestal**

Se observó especies maderables de alto rendimiento económico como tornillo, caoba, cedro, roble, diablo fuerte, alcanfor, lagarto fuerte, quinacho. Otras especies menores como el achiote y palillo. Entre las plantas medicinales encontramos jengibre, huairuro, sangre de grado, bálsamo, nogal, etc. (DEVIDA - VRAEM: Gómez, 2001).

### **2.4. MUESTREO.**

La selección del área y la toma de muestras de suelos se realizó, considerando la representatividad de áreas por comunidad.

Se utilizaron trece muestras provenientes de cinco comunidades (Lobo Tahuantinsuyo, Pueblo Libre, Palestina, Manitea, y Samaniato.) del distrito de Kimbiri, donde se eligieron áreas cultivadas.

Las muestras de la capa arable de terrenos cultivados fueron tomadas a una profundidad de 0-20 cm. Habiéndose recogido aproximadamente 5 kg de suelo libre de piedras en cada lugar.

## **2.5. ANÁLISIS DE SUELOS.**

La metodología seguida para el análisis del suelo, corresponde a los métodos que se recomienda en el reglamento de levantamientos de suelos, y que se desarrolla en el laboratorio de suelos, plantas, aguas y abonos MULTISERVICIOS AGROLAB, los que a continuación se describe:

### **a). Determinación del pH**

La determinación del pH se realizó usando un potenciómetro de electrodo de vidrio, en una suspensión de suelo y agua en una relación 1:2.5.

### **b). Materia orgánica**

Se emplea el método volumétrico Walkley- Black, que consiste en la oxidación del carbono fácilmente oxidable que forma parte de la materia orgánica a través del  $K_2Cr_2O_7$  combinado con  $H_2SO_4$  concentrado cuyo remanente que no se combina, se valora con una solución de sal de Mohr 0.2 N, empleando el indicador difenilamina.

### **c). Determinación de nitrógeno total**

Mediante el método semi micro Kjeldahl que consiste en la oxidación por vía húmeda con  $H_2SO_4$  concentrado más catalizadores y destilación en equipo Markhan por arrastre de vapor.

### **d). Fósforo disponible**

Se determinó mediante el método Olsen modificado, que consiste en la extracción con solución de  $NaHCO_4$  0.5 N pH 8.5 y la reacción colorimétrica se efectúa con ácido ascórbico para su posterior lectura en un espectrofotómetro a 660 nanómetros de longitud de onda.

### **e). Potasio disponible.**

Mediante el método de Morgan- Peech, consiste en la extracción del elemento con acetato de sodio pH 4.8, para su posterior lectura en espectro fotómetro de absorción de atómica.

## **2.6. TRABAJO DE INVERNADERO**

### **a). Preparación del suelo**

Las muestras fueron secadas bajo sombra al aire libre, trituradas y tamizadas por una malla de 2 mm de diámetro (tamiz N°10). De este total se separó una porción (0.5 kg) para el respectivo análisis físico-químico y la otra cantidad para ser empleada en el proceso experimental.

### **b). Macetas**

Las macetas fueron vasos descartables de aproximadamente 400 g de capacidad las que fueron perforadas en la parte inferior para el drenaje de agua. A continuación se colocó 50 g de arena a fin de facilitar el drenaje, luego 200 g de suelo y finalmente se procedió con la identificación de acuerdo a los tratamientos.

### **c). Planta indicadora**

Se empleó como planta indicadora el tomate, (*Lycopersicon esculentum*) por ser considerada como aquella que mejor expresa las condiciones nutritivas del suelo y manifiestan los síntomas característicos de carencia de elementos esenciales del mismo.

## **2.7. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO**

### **a). Almácigo de plantas**

Se realizó en una bandeja de plástico colocando en él, sustrato compuesto por una parte de arena, otra de compost y otra de tierra negra. El procedimiento fue colocar un sustrato grueso en la base para favorecer el drenaje a continuación una segunda capa de sustrato más fino. Las semillas se sembraron a una profundidad del doble de su grosor y para favorecer la germinación, se regó con mucho cuidado evitando que las semillas sobresalgan.

### **b). Trasplante**

Una vez que las plántulas alcanzaron aproximadamente 8 cm de altura, se procedió con el trasplante, tomando para tal efecto 3 plántulas, las que fueron colocadas en cada maceta o tratamiento.

### **c). Tratamientos**

Para la evaluación, empleando la técnica del elemento faltante se consideraron cinco tratamientos los mismos que se describen en el cuadro 6.1

**Cuadro 6.1.** Tratamientos empleando la técnica del elemento faltante.

<b>Símbolo</b>	<b>Características</b>
T	Control o testigo, sin abonamiento
-N	Con todo los nutrimentos, menos el Nitrógeno
-P	Con todo los nutrimentos, menos el Fósforo
-K	Con todo los nutrimentos, menos el Potasio
C	Con todo los nutrimentos: Nitrógeno, Fósforo y Potasio

### **d). Abonamiento**

Los nutrientes fueron aplicados disueltos en solución nutritiva, de acuerdo a los tratamientos considerados; las dosis y fuentes se muestran en el cuadro 6.2.

**Cuadro 6.2.** Niveles y fuentes de los nutrientes.

Nutrientes	Niveles			Fuente (Reactivo)	Nombre
	kg Ha <sup>-1</sup>	ppm	g/vaso		
N	300	150	0.032	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Urea
P	400	200	0.114	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Fosfato disódico
K	200	100	0.019	KCl	Cloruro de potasio

#### **e). Riego**

Los riegos fueron realizados con regularidad, hasta un contenido de humedad próximo a capacidad de campo y para evitar perder agua, las macetas empleadas se colocaron al interior de otro vaso, de manera que sí filtraba, se reusaba.

#### **f). Cosecha**

Transcurrido 60 días después del trasplante se procedió a cosechar las plantas, las que fueron lavadas, secadas al sol y colocadas en bolsas de papel.

#### **g). Secado**

El secado total de las plantas se realizó en una estufa a una temperatura de 75 °C hasta la obtención de peso constante, que ocurrió en las 48 horas.

#### **h). Peso de materia seca**

La materia seca obtenida, se pesó en balanza analítica (g).

## **2.8. VARIABLES EVALUADAS.**

### **2.8.1. Rendimiento de materia seca (g/ maceta).**

En cada uno de los tratamientos se consideró el rendimiento de materia seca de las plantas las que fueron expresadas en g/maceta.

### **2.8.2. Rendimiento relativo**

El rendimiento relativo se determinó mediante la relación siguiente:

$$Rr = \frac{\text{Rendimiento del testigo}}{\text{Rendimiento con tratamiento}} \times 100$$

### **2.8.3. Diseño experimental y Análisis Estadístico**

Se utilizó el factorial de 5 tratamientos por 13 suelos dispuestos en el Diseño Completamente Randomizado (DCR) con 3 repeticiones con un total de 195 unidades experimentales.

El rendimiento de materia seca se evaluó a través del análisis de variancia y las diferencias de promedio mediante la prueba de Tukey.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. DE LOS ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO DE SUELOS.**

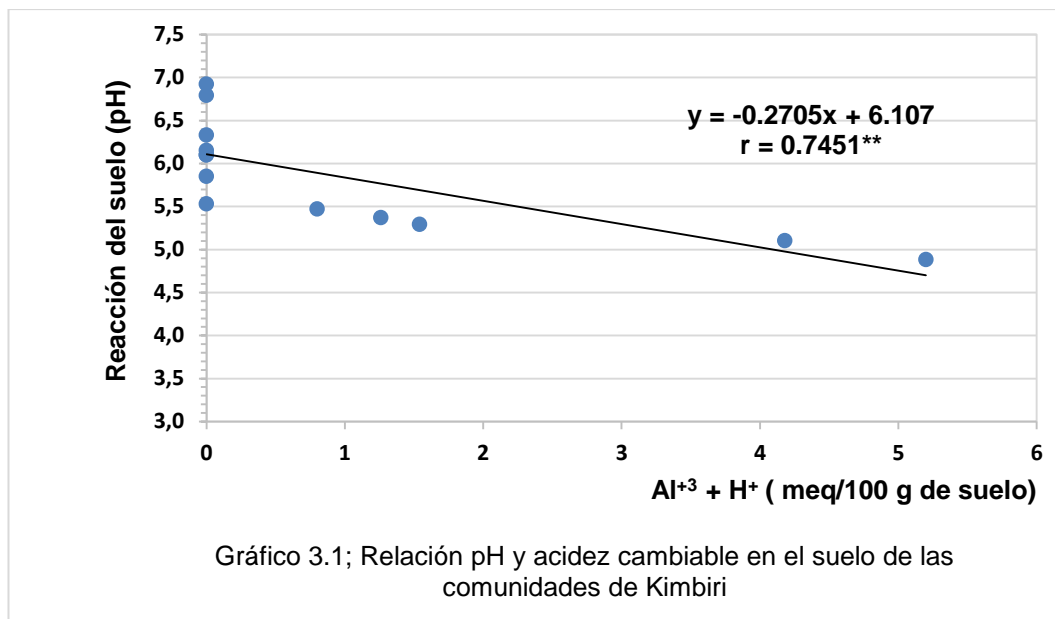
Como se puede observar en el cuadro 3.1 el pH tiene variación que en general va desde 4.88 (comunidad de Lobo Tahuantinsuyo) a 6.92 (comunidad de Samaniato) con promedio de 5.84 y LC de  $\pm 0.55$

De acuerdo a los valores propuesto por USDA los suelos se clasifican en muy fuertemente ácidos (S3), fuertemente ácidos (S2, S7, S9, S10 y S13); medianamente ácidos (S4); Ligeramente ácidos (S1, S6, S8 y S11) y neutros (S5 y S12).

En general la reacción de éstos suelos es de naturaleza ácida; fluctuando desde muy fuerte a ligeramente ácidos, como se observa en el cuadro 3.1, 12 de los 13 suelos evaluados poseen esa condición, de este modo se asume que afectarían entre otros por ejemplo a la solubilidad del

fósforo (P) tal como veremos más adelante, también la mayoría de los micro elementos en el suelo se encontrarían solubles.

De este modo de acuerdo a Tisdale y Nelson, (1977) si el suelo es fuertemente ácido existe la probabilidad de solubilizar inclusive al Aluminio y Hierro. Así al relacionar el pH de los suelos con los contenidos del  $Al^{+3}+H^{+}$  (acidez cambiante) se encontró una tendencia lineal con un coeficiente de correlación altamente significativo ( $r= 0.7451^{**}$ ) tal como se muestra en el gráfico 3.1



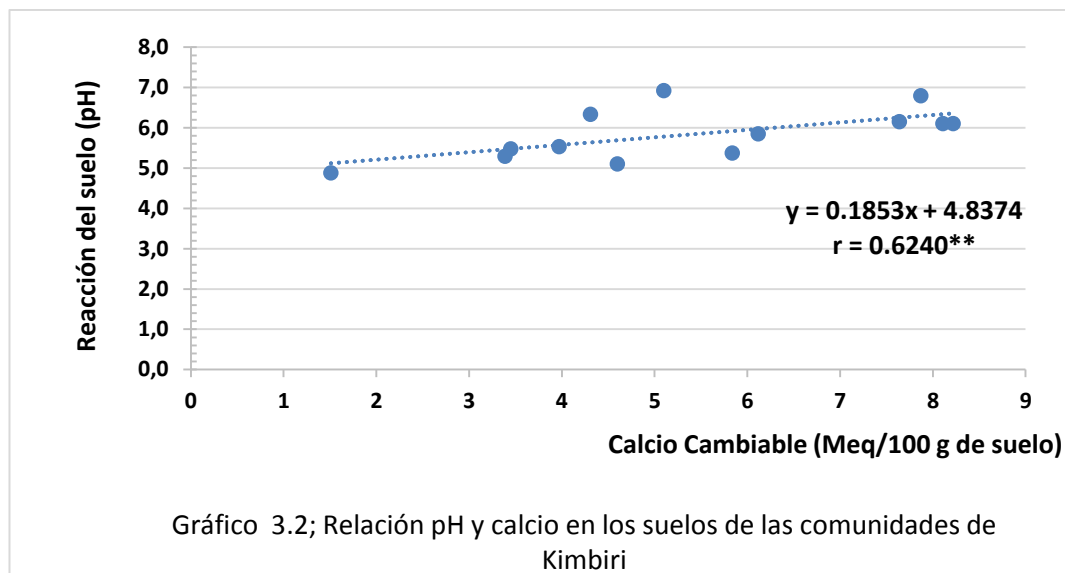
En el gráfico 3.1 se puede observar que en un rango de pH fuertemente ácido, el contenido de  $Al^{+3} + H^{+}$  (meq/ 100 g) es mayor de manera que, al incremento de una unidad de acidez cambiante ( $Al^{+3}+H^{+}$ ), el pH disminuye en 0.217 unidades.

**Cuadro 3.1 Resultados del análisis físico – químico de los trece suelos evaluados.**

Comunidad	Suelo	pH 1:2.5	M.O %	P (ppm)	N (%)	K (ppm)	Ca	Mg	K	Al+H	arena	limo	arcilla	CIC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	%SB
							meq/ 100 g de suelo											
Lobo Tahuantinsuyo	S1	6.1	5.5	5.47	0.27	88	8.22	1.11	0.36	0	54	24	22	15.25	7.41	22.83	3.08	65.51
	S2	5.47	1.3	3.97	0.05	80	3.45	0.81	0.24	0.8	63	18	19	8.28	4.26	14.38	3.38	57.97
	S3	4.88	2	2.13	0.11	91.5	1.51	0.23	0.3	5.2	61	15	24	9.36	6.57	5.03	0.77	23.93
	S4	5.85	2.7	7.13	0.09	98.5	6.12	1.16	0.38	0	62	21	17	11.54	5.28	16.11	3.05	68.11
	S5	6.79	4.1	9.17	0.2	71.5	7.87	1.47	0.22	0	71	19	10	13.45	5.35	35.77	6.68	73.31
Pueblo Libre	S6	6.1	6.5	5.2	0.32	87.5	8.11	0.85	0.35	0	50	23	27	15.32	9.54	23.17	2.43	62.08
Palestina	S7	5.29	3.2	1.99	0.16	105.75	3.39	1	0.48	1.54	15	35	50	13.21	3.39	7.06	2.08	39.14
	S8	6.33	1.2	2.08	0.05	96.5	4.31	0.49	0.56	0	71	22	7	8.71	8.80	7.70	0.88	63.83
Manitea	S9	5.53	4.1	4.72	0.21	85.75	3.97	0.56	0.33	0	54	20	26	12.11	7.09	12.03	1.70	41.78
	S10	5.37	3.8	3.61	0.19	109	5.84	1.44	0.62	1.26	39	29	32	13.7	4.06	9.42	2.32	59.85
	S11	6.15	2.3	5.24	0.11	122.25	7.64	1.73	0.6	0	64	16	20	13.2	4.42	12.73	2.88	79.32
Samaniato	S12	6.92	0.9	4.76	0.04	36.75	5.1	0.72	0.2	0	63	22	15	6.94	7.08	25.50	3.60	89.63
	S13	5.1	1.9	2.26	0.09	66.5	4.6	0.97	0.17	4.18	52	19	29	10.71	4.74	27.06	5.71	55.00
<b>Promedio</b>		5.84	3.04	4.44	0.15	87.65	5.39	0.96	0.37	1.00	55	22	23	11.68	6	16.83	2.97	59.96
<b>Límite de confianza</b>		0.55	1.5	1.88	0.08	18.97	1.87	0.37	0.13	1.53	13.22	4.74	9.60	2.37	1.68	8.18	1.48	15.36

Lo que hace suponer que en estos suelos tal como menciona Tisdale y Nelson, (1977) el P- disponible podría reaccionar con el Al, el Fe o ambos compuestos insolubles, limitando de este modo la disponibilidad de éste nutriente importante para las plantas.

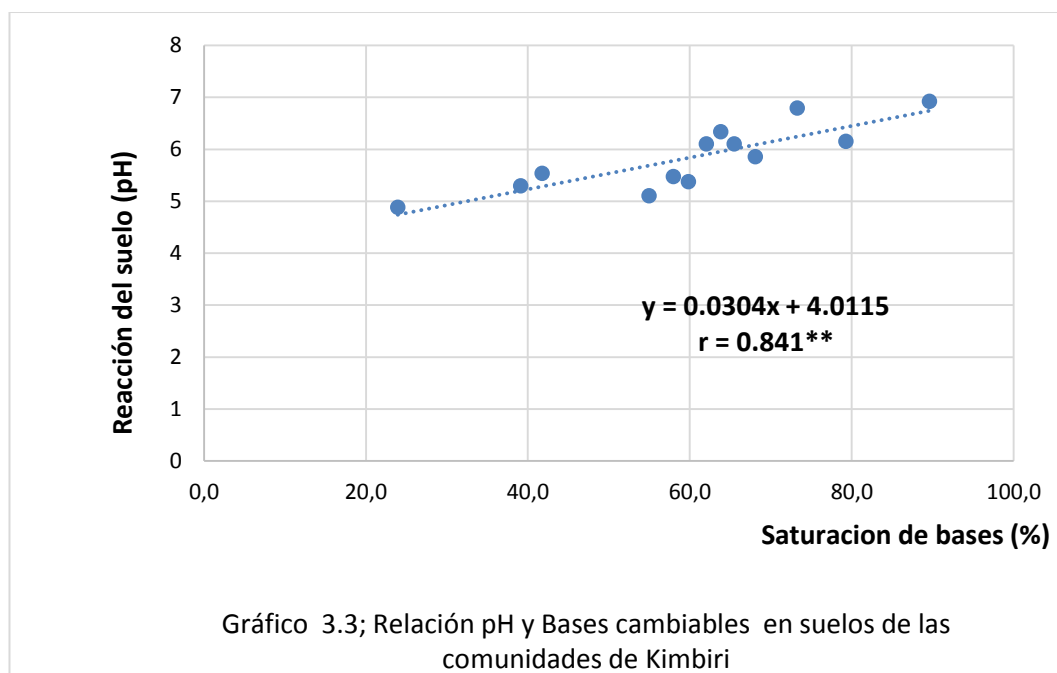
También se observa en estos suelos que en general el contenido de Ca cambiante está en aumento con el pH, tal como se puede observar en el gráfico 3.2



Del cuadro 3.1 se desprende que el contenido de Ca, se encuentra con un promedio de 5.39 meq/100g de suelo y un LC  $\pm$  1.87 y que estarían en aumento cuando el pH también sube.

De manera similar al contenido de Ca, la concentración de las bases cambiables, posee similar tendencia  $Y = 0.0304X + 4.0115$ ;  $r = 0.8414^{**}$ , en mismo que se muestra en la gráfica 3.3

Sin embargo al ser importante considerar más que las cantidades totales de las bases cambiables, las relaciones existentes entre ellos es decir relación de cationes, que se observan en el cuadro 3.1. Donde las relaciones Ca/Mg; fluctúan entre 4.32 a 7.68 con un promedio de 6.00.



De donde se desprende que, aquellos suelos que tienen valores de relaciones catiónicas por debajo de 5, como se produce en 5 suelos: (S2, S7, S10, S11 y S13) las planta que crecen en ellas, tendrían alguna dificultad para alimentarse con el Ca o lo que es lo mismo habrá deficiencia de Ca debido a la competencia existente con el Mg.

La relación Ca/K en promedio es 16.83 siendo la variación entre los límites de 8.65 – 25.01 los cuales se encuentran o por debajo de lo aceptable (14) o por encima de ella (16). De este modo aquellos suelos

cuyas relaciones Ca/K están por debajo del límite inferior aceptable (S3, S7, S8, S9 y S11). Así como aquellos que superan el límite (S1, S4, S5, S6, S12 y S13) tendrían dificultad de alimentar normalmente a las plantas que crecen ahí dado que si tienen menor relación ( $Ca/K < 14$ ) habría exceso de K; lo que implicaría competencia por los lugares en el complejo de cambio con el Ca o en la asimilación por las plantas, explicado por la acción de masas (Roy et al., 2006).

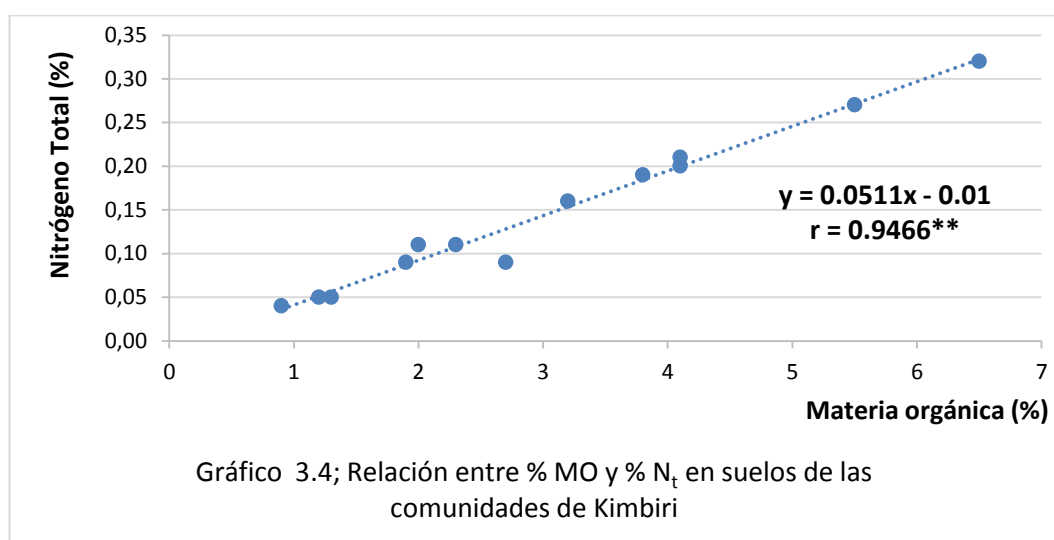
En aquellos suelos donde las relaciones superan el límite de (16) se produciría el efecto contrario, es decir sería el Ca quién interfiera al K.

Respecto de las relaciones catiónicas Mg/K, estos se encuentran dentro de los límites de confianza 1.49 a 4.45 con promedio 2.97 dejando entrever que tan solo los suelos (S7, S9, S10 y S11) se encuentran dentro del margen de relaciones considerados como aceptables o ideales (1.8 - 2.5) para una adecuada nutrición de las plantas; lo que supondría que en los suelos S3 y S8, el K podría ocasionar interferencia al Mg dado que está en mayor proporción, en tanto que en el resto de suelos que son la mayoría (S1, S2, S4, S5, S6, S12 y S13) el Mg estaría interfiriendo al K. En definitiva la mayoría de los suelos tendrían carencia de K y Ca.

Respecto al contenido de Materia orgánica ( MO) de los suelos evaluados se observa que en promedio es de 3.04% con  $LC \pm 1.504$  es decir los contenidos fluctúan entre pobres (S2, S8, S12 y S13) en MO; y los que tendrían medio (S3, S4, S11) y alto (S1, S5, S6, S7, S9, S10), es decir el

contenido de MO de la mayoría de los suelos es de medio a alto, aún cuando se trate de suelos provenientes de condiciones climáticas tropicales donde las condiciones de H° y T° favorecen a la formación de masa vegetativa así como a la degradación de los compuestos orgánicos, no obstante las condiciones del suelo como pH y textura en este caso serían los que influyan en la menor capacidad de liberación de nutrientes de las fuentes orgánicas.

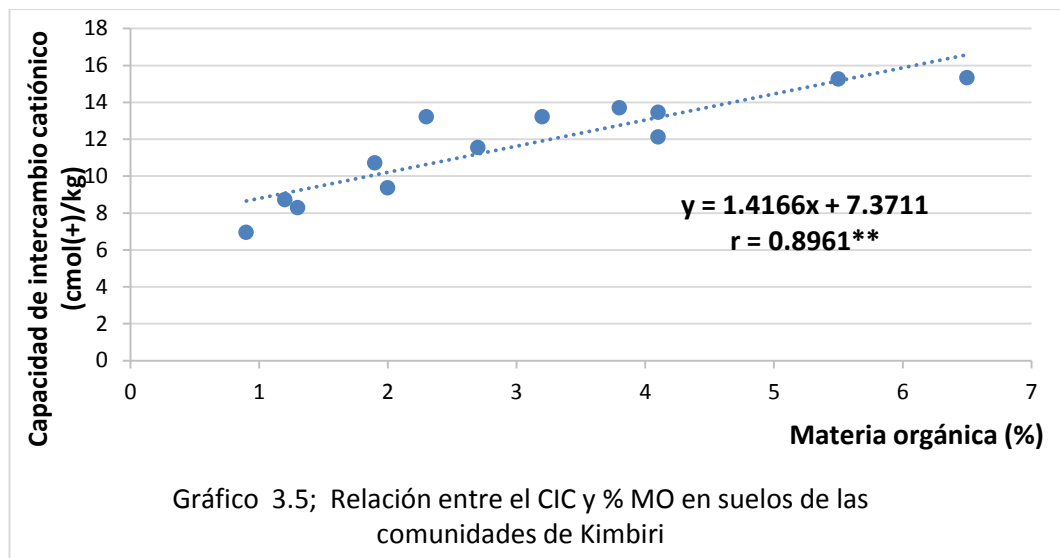
Como se conoce la MO del suelo se encuentra fuertemente vinculado al contenido del Nitrógeno total (N<sub>t</sub>), dado que la mayor proporción de N<sub>t</sub> es orgánico (Brady et al., 2008).



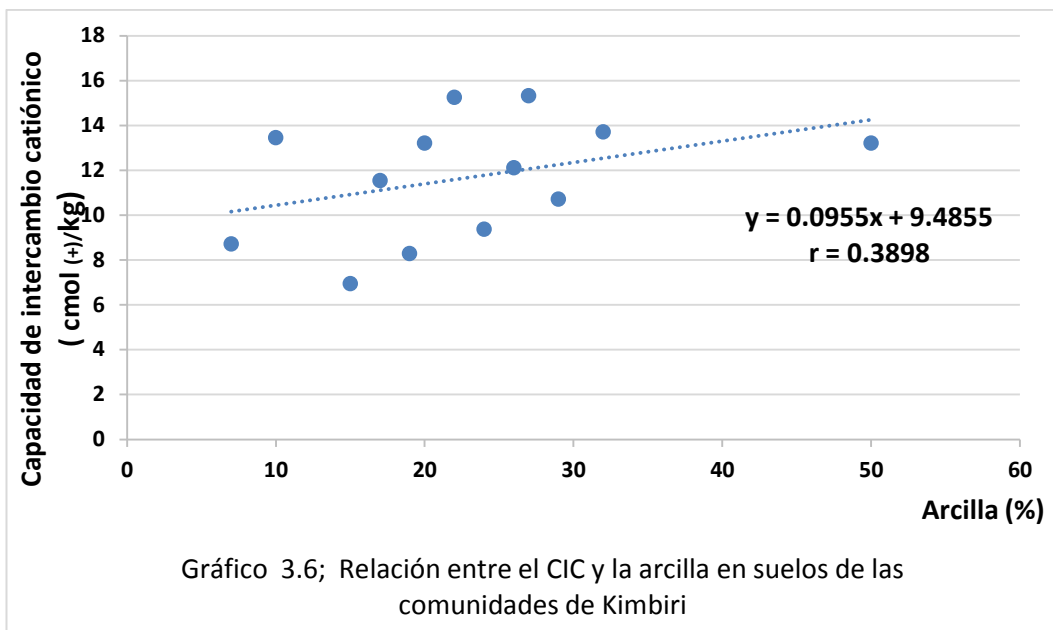
Así en el cuadro 3.1 se observa que el contenido promedio de N<sub>t</sub> es de 0.15 con LC de ± 0.08. Así los suelos (S2, S8, S12) son muy pobres, (S4 y S13) pobres, (S3 y S11) medio, (S5, S7, S9, S10) alto y (S1 y S6) muy alto.

La gráfica 3.4 muestra la estrecha correlación existente entre el contenido de MO y el  $N_t$  con lo que se puede afirmar que el  $N_t$  del suelo que predominantemente es nitrógeno orgánico depende de la cantidad MO del suelo. Del mismo modo el gráfico 3.5 muestra que la MO influye enormemente a la CIC del suelo, dado que correlaciona significativamente ( $r= 0.8961^{**}$ ).

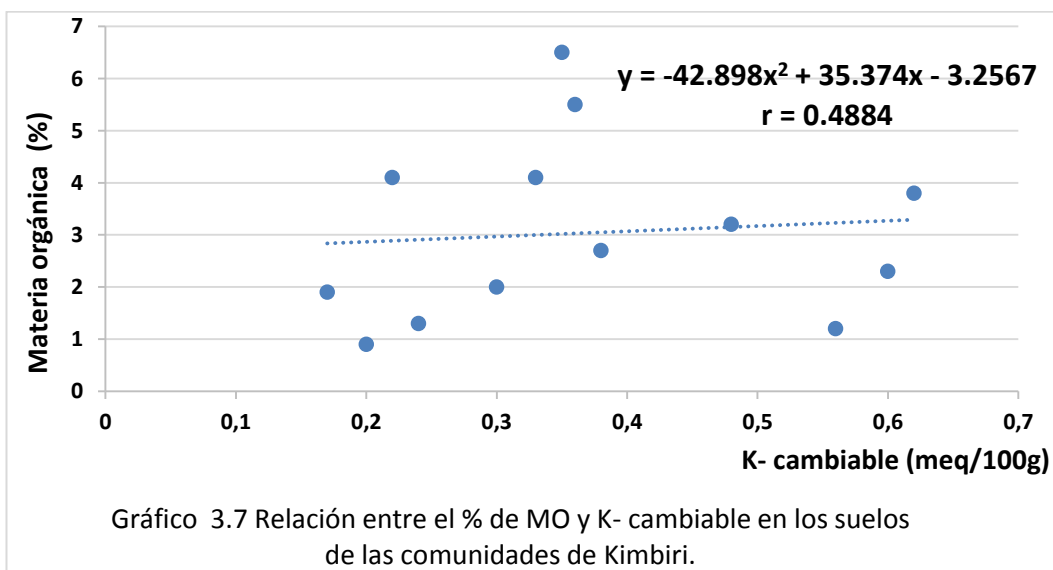
A diferencia de lo que sucede con el contenido de arcilla que no está significativamente asociada a la CIC o cuya correlación es baja.



En razón a que probablemente la mayor proporción de la fracción fina del suelo se trate de arcillas del tipo 1:1 que no exponen mucha carga negativa para atraer a los cationes cambiabiles; siendo dominante la fracción orgánica en el complejo arcillo húmico.

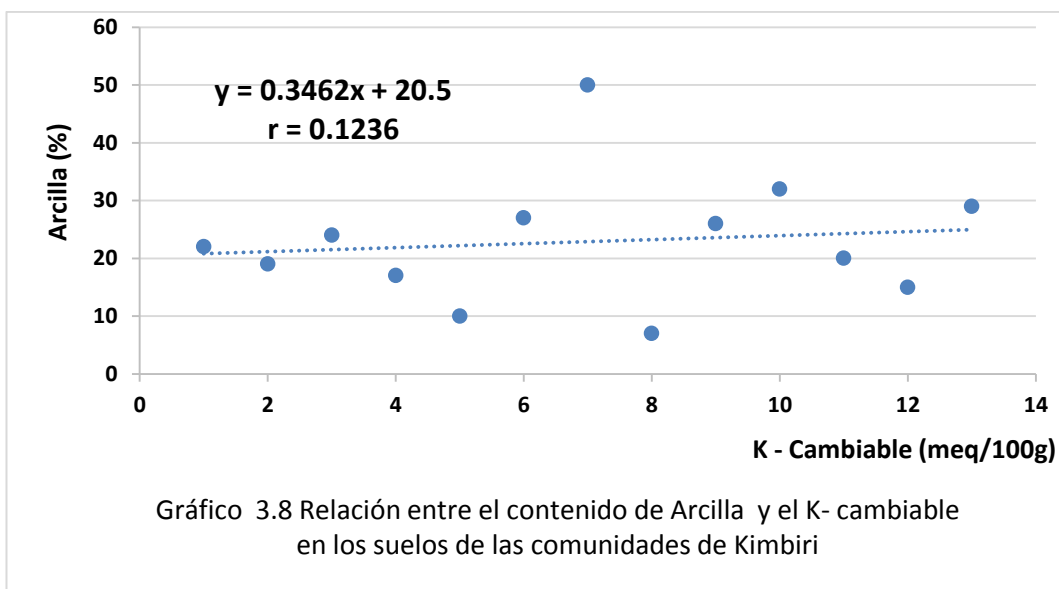


En relación al contenido de K disponible en promedio de los suelos es de 68.68 a 106.62 ppm es decir desde bajo hasta contenidos medios. Así como los suelos procedentes de Samaniato que muestran un contenido de medio a bajo.



En el caso del K disponible cabe indicar que comprenden dos fracciones, aquellos que se encuentran en la solución del suelo y los que se ubican en el complejo de cambio; existiendo equilibrio dinámico entre ellos Brady et al., (2008) Al respecto Roy et al. (2006) refieren que la fracción intercambiable de los nutrientes es mucho más grande que el contenido de la solución del suelo.

De este modo los nutrientes del complejo de cambio deberá ser primero desorbido, intercambiado o desprendido en los alrededores de la solución suelo, antes que ellos puedan ser tomados por las plantas. Respecto a esto último de acuerdo a Havlin, (1999) los factores que contribuyen a la disponibilidad de K, son la cantidad y tipo de mineral arcilloso, CIC, cantidad de K cambiabile, la  $H^{\circ}$ ,  $T^{\circ}$  y pH del suelo. En tal sentido se puede observar por ejemplo en la gráfica N° 3.7 y 3.8 que los contenidos de K cambiabile se encuentran más estrechamente relacionado con la materia orgánica que con el contenido de arcilla todo ello juzgando a través del valor del coeficiente de correlación.



### 3.2. DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA – MÉTODO DEL ELEMENTO FALTANTE.

En los cuadros 1, 2, 3, 4, 5 del anexo se presentan los rendimientos de materia seca de cada uno de los tratamientos en los 13 suelos provenientes de las cinco comunidades estudiadas. Con dicha información se realizan las evaluaciones que se discutirán a continuación.

**Cuadro 3.2.** Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) de 13 suelos provenientes de 5 comunidades de Kimbiri.

F. Variación	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Suelo (S)	12	1.08525	0.09044	766.75	<.0001 **
Tratamiento (T)	4	2.36146	0.59036	5005.27	<.0001**
Inter (S x T)	48	0.44295	0.00923	78.24	<.0001**
Error	130	0.01533	0.00011		
Total	194	3.90499			

C.V. = 6.26 %

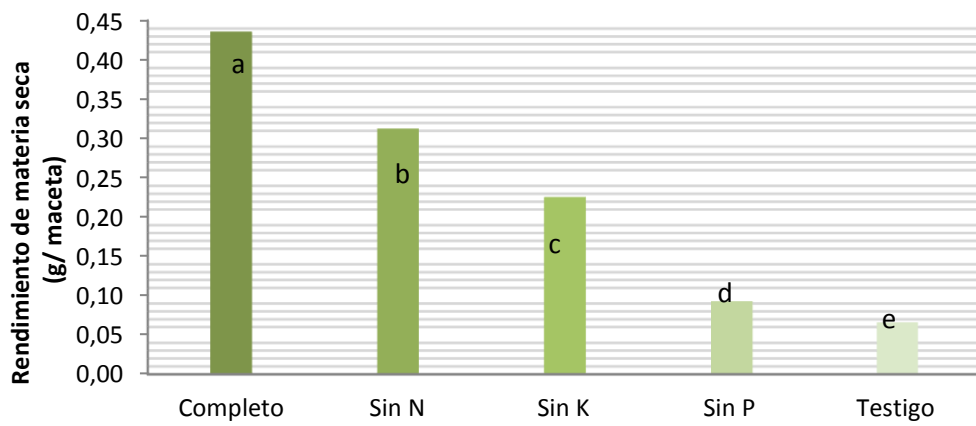
El ANVA del cuadro 3.2 muestra que existe diferencia altamente significativa para las fuentes de variación suelo (S), tratamientos (T), así como para la interacción (S x T) indicando que la producción de materia seca es diferente en los tratamientos evaluados, así como en cada suelo. Para determinar la significancia o no de los tratamientos en cada uno de los suelos se realiza el ANVA de los efectos simples del rendimiento de materia seca de tratamiento por suelo, el mismo que se muestra en el cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3.** Análisis de variancia de los efectos simples de tratamiento por suelo para el rendimiento de materia seca de tomate (g/maceta).

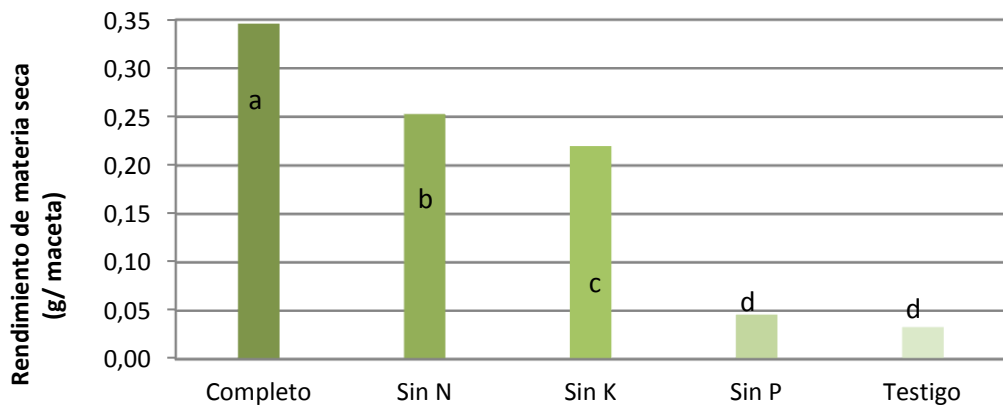
Localidad	GL	SC	CM	Fc	Pr>F
Lobo Tahuantinsuyo (S1)	4	0.2849	0.0712	603.99	<.0001 **
Lobo Tahuantinsuyo (S2)	4	0.2221	0.0555	470.83	<.0001 **
Lobo Tahuantinsuyo (S3)	4	0.0555	0.0138	117.60	<.0001 **
Lobo Tahuantinsuyo (S4)	4	0.4261	0.1065	903.30	<.0001 **
Lobo Tahuantinsuyo (S5)	4	0.3489	0.0872	739.53	<.0001 **
Pueblo Libre. (S6)	4	0.6078	0.1519	1288.33	<.0001 **
Palestina. (S7)	4	0.0572	0.0143	121.32	<.0001 **
Palestina. (S8)	4	0.0578	0.0144	122.60	<.0001 **
Manitea. (S9)	4	0.1524	0.0381	323.11	<.0001 **
Manitea. (S10)	4	0.1431	0.0357	303.44	<.0001 **
Manitea. (S11)	4	0.2331	0.0583	494.08	<.0001 **
Samaniato. (S12)	4	0.1645	0.0411	348.68	<.0001 **
Samaniato. (S13)	4	0.0506	0.0126	107.31	<.0001 **

En el cuadro 3.3 se observa diferencia altamente significativa entre los tratamientos evaluados en cada uno de los suelos de este modo la prueba

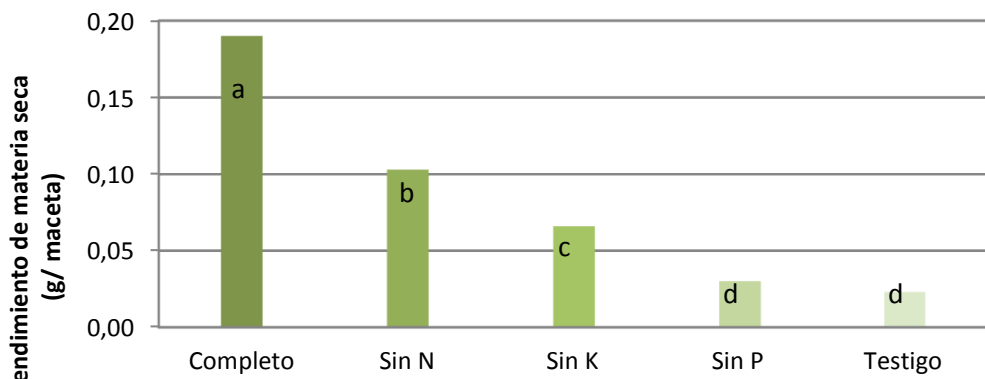
de Tukey que se muestra para 5 suelos de la comunidad de Lobo Tahuantinsuyo en los gráficos N° 3.9 a 3.13, muestra que todos los suelos responden a la aplicación de todos los nutrientes (completo); dado que los tratamientos que recibieron los abonos poseen los mayores rendimientos ocupando los primeros lugares y seguido en todos los casos de los tratamientos sin N, sin K, y sin P; siendo este último tratamiento el más crítico entre los macronutrientes, al grado que no se diferencia del testigo como sucede en el caso de los suelos S2, S3, y S4, en tanto que en los suelos S1 y S5, aun cuando también ocupa los últimos lugares, en éstos sí se muestran diferentes al testigo, por cuanto se infiere que el pH es una característica que determina la disponibilidad del P, tal como refiere Porta et al, (2003) pues el comportamiento de los suelos muy fuertemente ácidos (S3, pH 4.88), fuertemente ácidos (S2 pH 5.47) y el medianamente ácido (S4, pH 5.85) poseen una reacción que es capaz de influir en la solubilidad del P, por ello es que en estos suelos donde analíticamente se ha detectado un contenido pobre de P, responden a la fertilización del nutriente, así como también dejan entrever a través de las plantas que el P es el más crítico de los nutrientes aun cuando podría el P numéricamente ser ligeramente más elevado como sucede en el suelo S4 (pH=5.85 y P= 7.13 ppm).



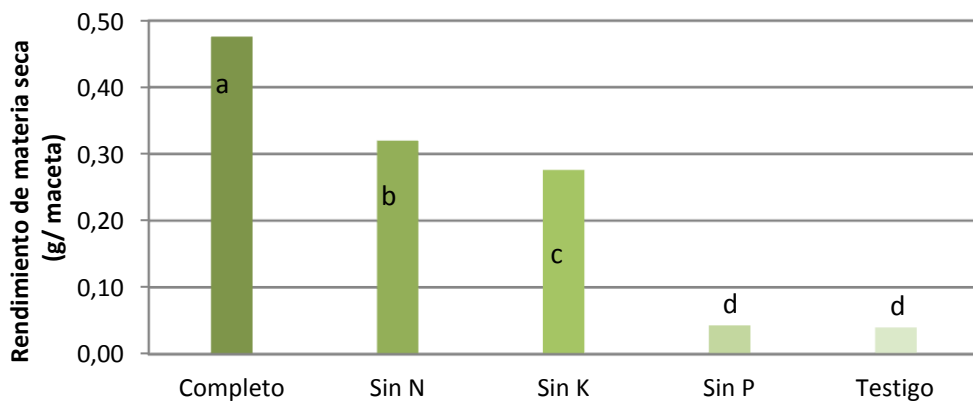
**Gráfico 3.9; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca ( g/maceta) en el suelo S1**



**Gráfico 3.10; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca ( g/maceta) en el suelo S2**

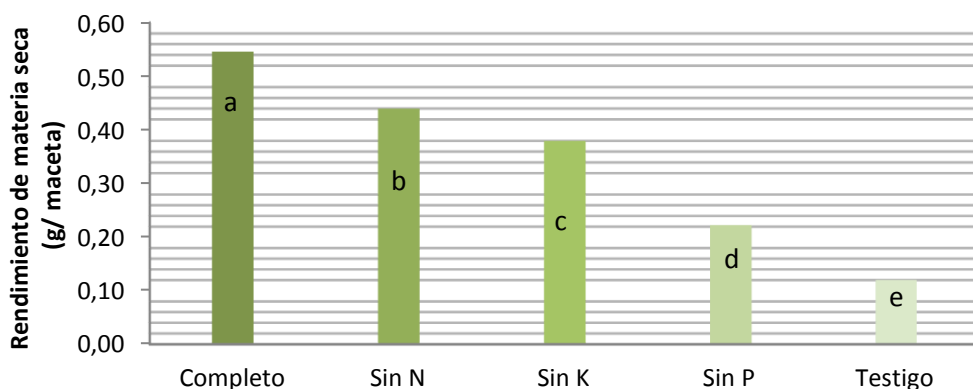


**Gráfico 3.11; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca ( g/maceta) en el suelo S3**



**Gráfico 3.12; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S4**

En tanto los suelos S1 y S5 que son ligeramente ácidos a neutros respectivamente y donde analíticamente el contenido de P es similar o mayor a los anteriores (5.47 y 9.17 en S1 y S5) ambos responden a la fertilización de fosfatada dejando entrever nuevamente que el nivel de P del suelo aún es insuficiente o no es del todo disponible. Por ello el rendimiento de materia seca en respuesta a la fertilización no resulta tan crítico como cuando el pH es muy ácido.



**Gráfico 3.13; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S5**

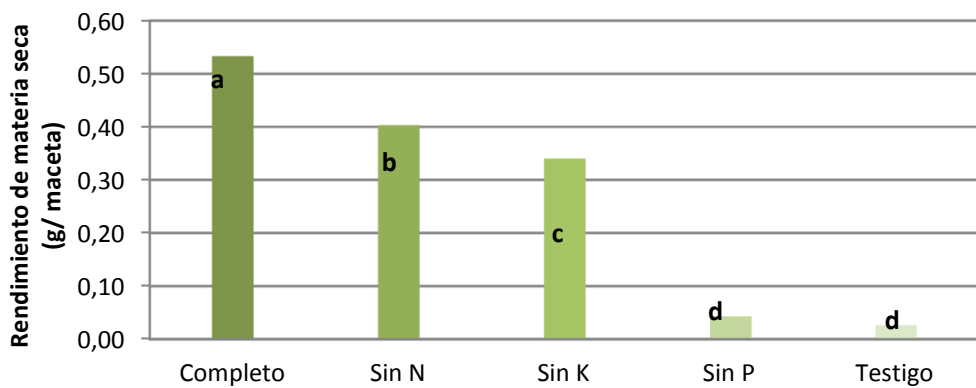
Sin duda el comportamiento de la disponibilidad de nutrientes para la planta en el suelo es complicado, pues no depende tan solo de la cantidad relativa de un nutriente en particular sino es producto de la interacción de varias propiedades y/o características del suelo que en el caso específico del P, tiene relación estrecha no solo con el pH, sino también con el contenido y solubilidad del  $Al^{+3} + H^{+}$ ; sobre los que también el pH influye. De este modo en los suelos S2 y S3 (pH 5.47 y 4.88) se detectó también 0.80 y 5.2 meq de  $Al^{+3} + H^{+}$  cambiante, con quienes el P del suelo también estaría interactuando disminuyendo de este modo su solubilidad por ende la menor disponibilidad, que se traduce finalmente en un menor rendimiento de la planta y una mayor respuesta al abonamiento.

En cuanto al nitrógeno en éstos suelos el nivel del nutriente detectado analíticamente es alto, así como el rendimiento de materia seca a excepción del S3 cuyo pH es muy fuertemente ácido (4.88) con un rendimiento de materia seca menor a los obtenidos en los suelos (S1, S2, S4 y S5) esto indica que la falta de N es poco deprimente. Al respecto Bertsch, (1995) menciona que los suelos desarrollados bajo planta con sistemas radicales extensos presentan alto contenido de nitrógeno; y que la topografía afecta directamente al contenido del nutriente, a través del clima, escorrentía, evaporación y transpiración. Además menciona que los suelos arcillosos contienen mayor cantidad de Nitrógeno que los limosos y arenosos.

Sin embargo los suelos evaluados de la comunidad Lobo Tahuantinsuyo aun cuando tengan N, éste está vinculado a la MO, es decir es dependiente de la mineralización, la misma que al parecer en el periodo de tiempo evaluado es insuficiente, razón por la cual las plantas responden a la fertilización nitrogenada.

Respecto a los tratamientos sin K, se observa que en esta comunidad existe respuesta a la fertilización potásica, indicando que hace falta K - disponible para la planta. Sin embargo observando los resultados del análisis químico, se tiene que en esta comunidad los contenidos del nutriente es medio por tanto no correspondería tal respuesta. Probablemente durante el proceso analítico principalmente de extracción con acetato de sodio a pH 4.8 en aquellos suelos, cuyo pH sea mayor provocaría cambios, al grado de extraer por ejemplo más K - cambiabile del que la planta pueda hacerlo y que la solución extractiva sí alcanzaría a producir cambios tanto con las arcillas como con la materia orgánica al estado coloidal, o en todo caso también en la solubilidad de otros cationes (Al, Fe) presentes en el suelo, con la consiguiente alteración a nivel de cationes.

En una segunda comunidad que es la de Pueblo libre, la prueba de Tukey del Gráfico 3.14 muestra un comportamiento similar al promedio de la comunidad de Lobo Tahuantinsuyo, donde también el P resulta siendo crítico seguido del potasio y finalmente del N, como se puede observar en la fotografía 6 del anexo.

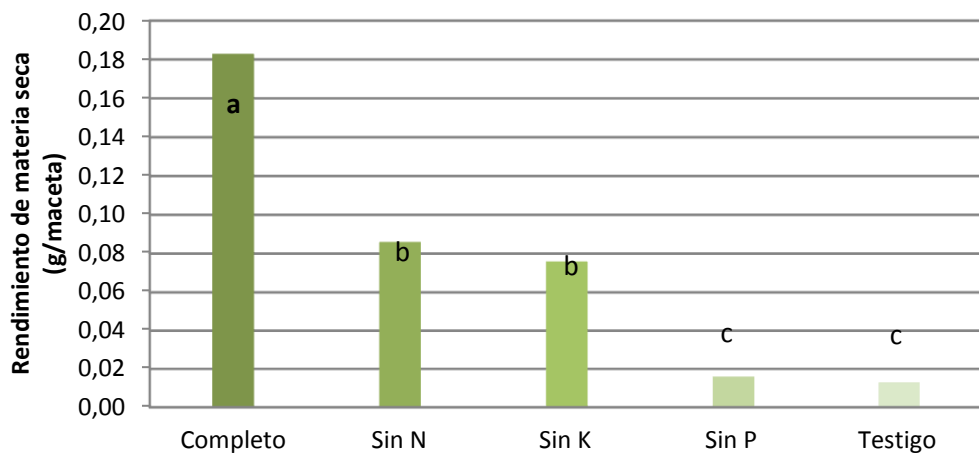


**Gráfico 3.14; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S6**

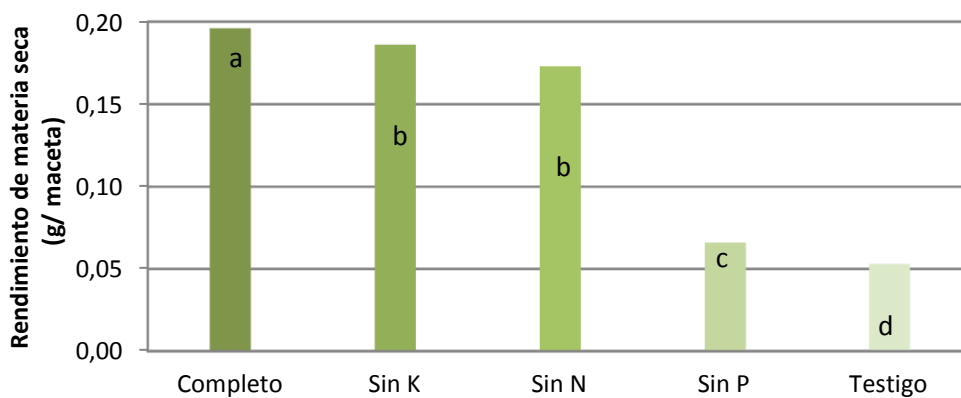
La tercera comunidad de Palestina (S7 y S8) en cuyos gráficos 3,15 y 3.16 de la prueba de Tukey muestran la misma tendencia pero además donde el pH de suelos sea fuertemente ácido ( S7, pH 5.29 ) el contenido de P es muy bajo o pobre por ello el rendimiento de MS es mínimo.

Al respecto como ya se mencionó anteriormente, en este caso específico probablemente el P se encuentra reaccionando con el  $Al^{+3}$  dado que en el suelo la presencia de  $Al^{+3} + H^{+}$  resulta en 1.54 meq/g de suelo. Se observa que cuando mejora el pH como en el S6, el nivel de P también mejora y con ello el rendimiento de MS, aun cuando siga siendo el más crítico seguido de los tratamientos sin N, y luego sin K que responden igualmente a la incorporación de nutrientes.

De este modo en promedio la carencia es del orden  $P > K > N$ .



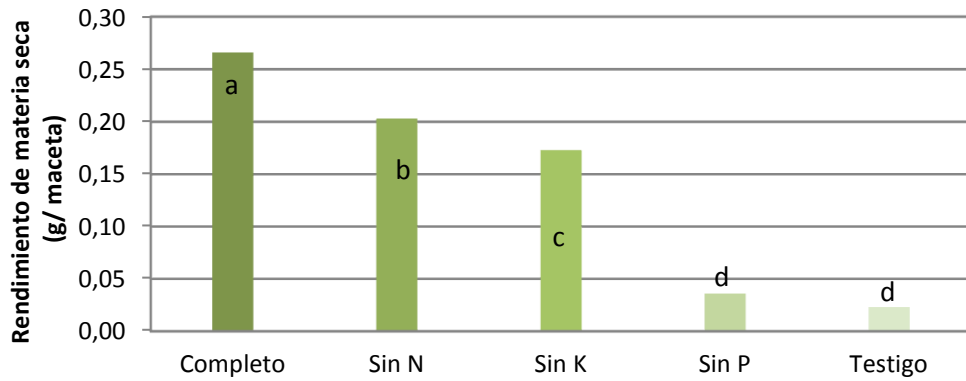
**Gráfico 3.15; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S7**



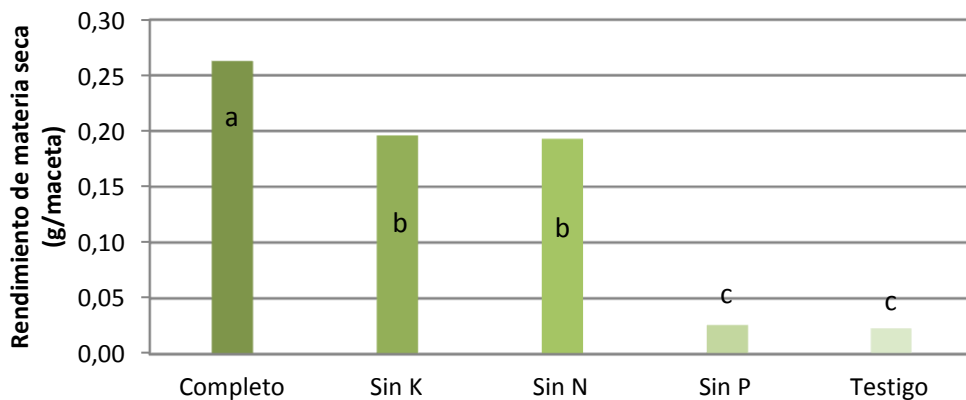
**Gráfico 3.16; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S8**

Cuarta comunidad de Manitea, el comportamiento también es prácticamente el mismo, con rendimientos de materia seca de la planta indicadora similar al testigo cuando no se aplica P al suelo seguido de sin K y sin N. Se trata en todos los casos, de suelos ácidos desde fuertemente ácidos (S9 y S10) a ligeramente ácido (S11) que no permiten adecuada liberación de nutrientes por ello la respuesta al no aporte de N (-N), así como los contenidos de K son extraídos desde el complejo de

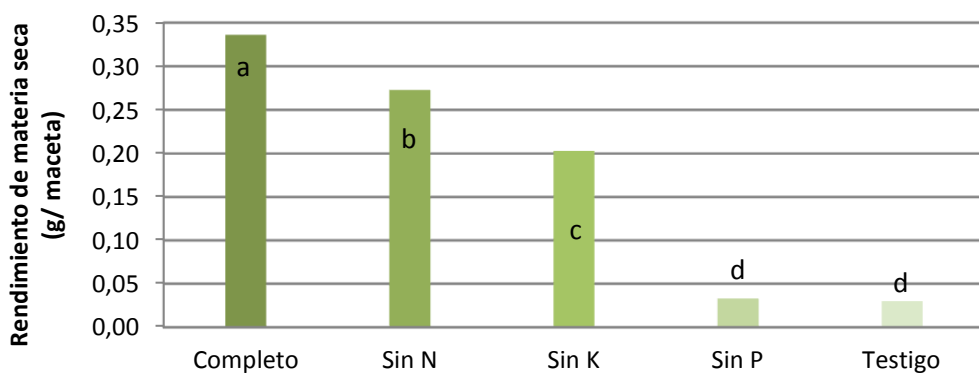
cambio dado que analíticamente son de contenido medio; o no es suficiente y por ello responde a la fertilización potásica.



**Gráfico 3.17; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S9**



**Gráfico 3.18; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S10**



**Gráfico 3.19; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S11**

Por cuanto el orden de carencia en ambos suelos S9 y S10 sería:  $P > K > N$

En tanto que en el suelo S10 sería:  $P > N = K$

En la quinta comunidad de Samaniato (S12 y S13), los gráficos 3.20 y 3.21 de la prueba de Tukey muestran que el elemento más crítico es nuevamente el fósforo al punto que no se diferencia del testigo por razones que ya se mencionaron anteriormente, estos suelos poseen un pH de medianamente ácido a neutro siendo el comportamiento en respuesta al abonamiento similar al anterior.

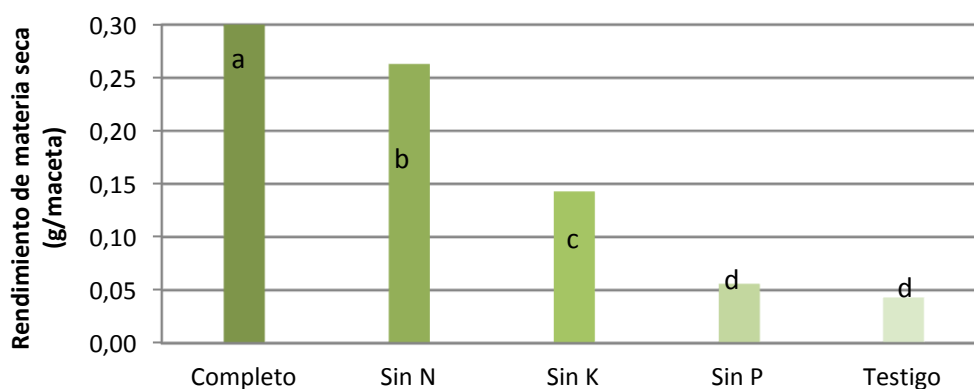


Gráfico 3.20; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S12

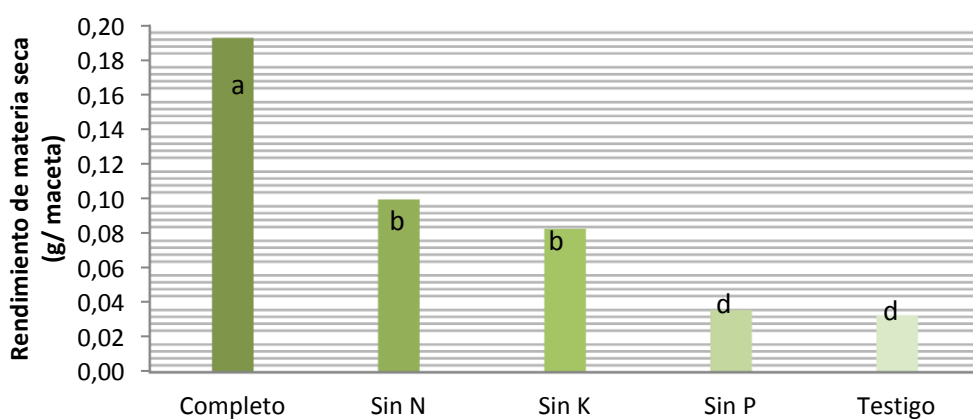
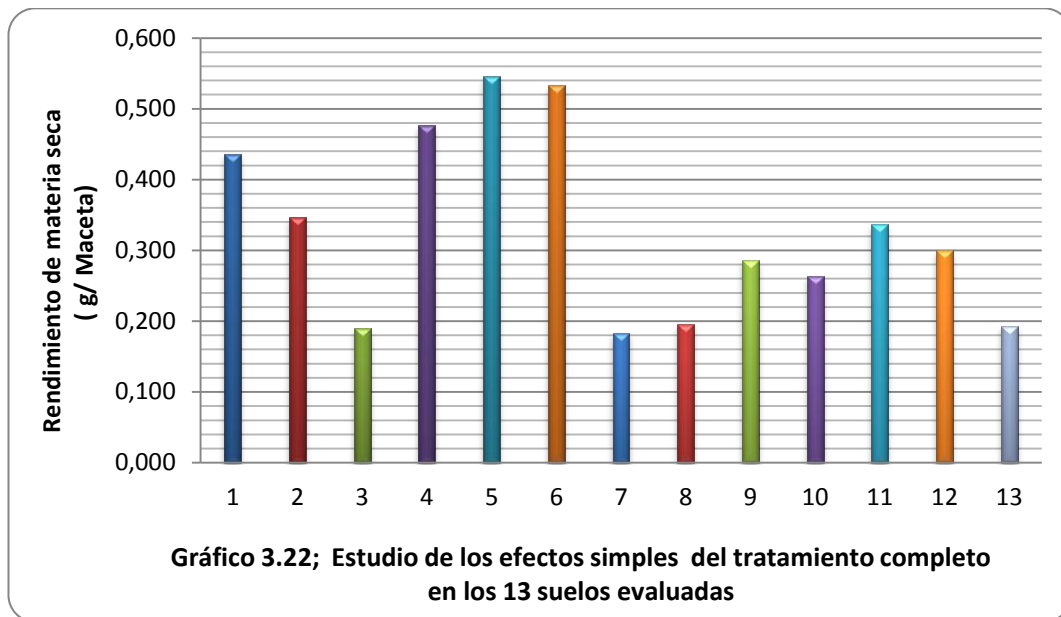


Gráfico 3.21; Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) en el suelo S13

### 3.3. DE LOS TRATAMIENTOS COMPLETOS.



En el Gráfico 3.22 en el estudio de los efectos simples se observa que los suelos (S1, S4, S5 y S6) muestran mayor rendimiento de materia seca, superando a los demás suelos donde la incorporación de nutrientes surte efecto. Cabe destacar en el grupo de los suelos (S3, S7, S8 y S13), quienes muestran menor productividad por lo que se pueden considerar de baja fertilidad y que no solo necesitan NPK, podría ser además el Ca, Mg, S o también podría ser que exista algunos de los microelementos provocando toxicidad.

En general, se resume que el principal problema en los 5 comunidades de Kimbiri es el P, y siendo un elemento indispensable para la planta dado que participa como constituyente del ADN, fuente de energía a nivel de membrana celular, etc, por ello se afirma que es muy importante en el crecimiento de la raíz (Taiz et al., 2008).

La deficiencia del fósforo, hace que el crecimiento se retarde y produzca coloración morada en el follaje de algunas plantas debido a que acumulan gran cantidad de azúcares en los tejidos, lo que ocasiona un notable aumento de los pigmentos morados llamados antocianinas ( Gardner et al., 1990). Pigmentación que se muestra en la fotografía 1, y que se observa tanto en el testigo como en el tratamiento sin fósforo.



Foto 1: Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S2.

Finalmente indicar que el fósforo en el suelo, posee una dinámica compleja pues puede fijarse, adsorberse, precipitar en el suelo dependiendo del pH, de la composición mineralógica o también podría formar parte de la fracción orgánica (Fassbender, 1980).

Los suelos del valle de Kimbiri, son principalmente producto de la sedimentación proveniente del flanco Oriental de la cordillera central y flanco occidental de la cordillera oriental es decir material principalmente

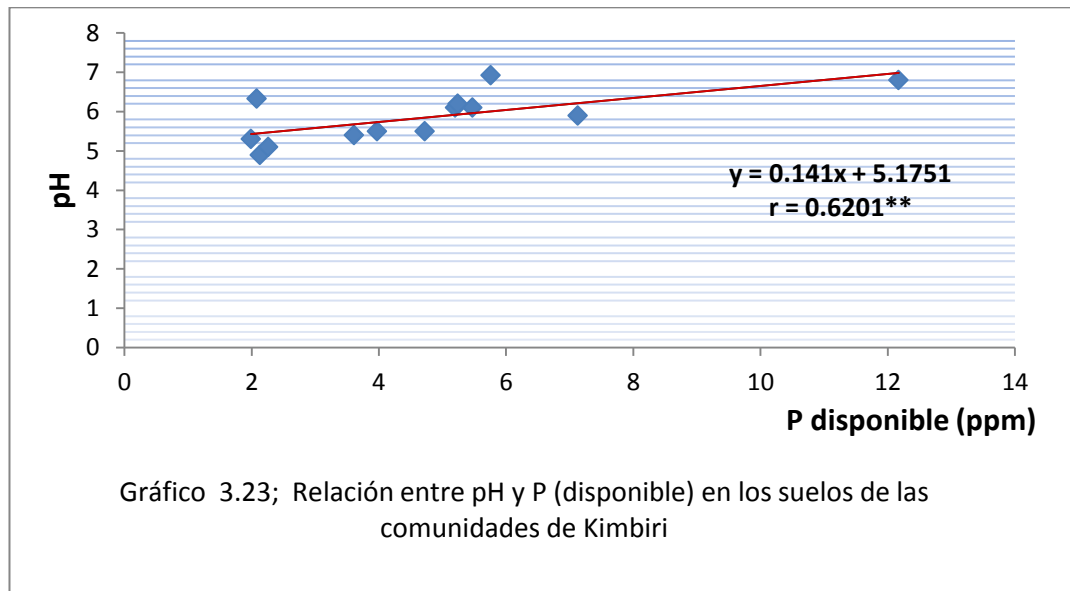
sedimentario de rocas ígneas y metamórficas. Además las condiciones climáticas y de flora y fauna de la zona favorecen a una elevada meteorización y procesos de lixiviación, con medio edáfico resultante de composición dominante de arcilla de tipo 1:1, óxidos, acidez de los medios, pobres en bases cambiables por ello Cerda (2014) al evaluar suelos de las comunidades Kimbiri (San Luis Alta, Macerine y Camoniato) concluye que los suelos son de naturaleza muy ácida y que el contenido de fósforo disponible fluctúan en rango de 2.2 a 6.38 ppm.

Es decir son bastante bajos muy por debajo de los niveles observados, dependiendo inclusive del manejo que se da, por ello una evaluación complementaria en las mismas comunidades pero en aquellos suelos con cultivo de coca, el contenido de P disponible es menor aún fluctuando entre 2.2 - 4.14 ppm (Cerda, 2014).

Aquellos resultados serán próximos a la que se obtiene en nuestros suelos evaluados básicamente a aquellos cuyo pH es fuertemente ácido que poseen un contenido de P disponible de 1.99 – 4.72.

Sin embargo en aquellos suelos cuyo pH es mayor a 6.4 y 7.2 los contenidos de P disponible son mayores y por ello los rendimientos de aquellos tratamientos S1 y S5 sobre todo el S5, no se muestra tan crítico como sucede con S2, S3 y S4, considerando solamente los suelos procedentes de la comunidad de Lobo Tahuantinsuyo.

Por ello al correlacionar los contenidos de P disponible y el pH, que se muestra en el gráfico 3.23



Se encuentra que se ajusta a una función lineal  $Y = 0.141X + 5.1751$  con  $r = 0.6201^{**}$  corroborando la estrecha relación existente entre ambos y que el pH es la característica del suelo que determina la disponibilidad del P y probablemente otros nutrientes.

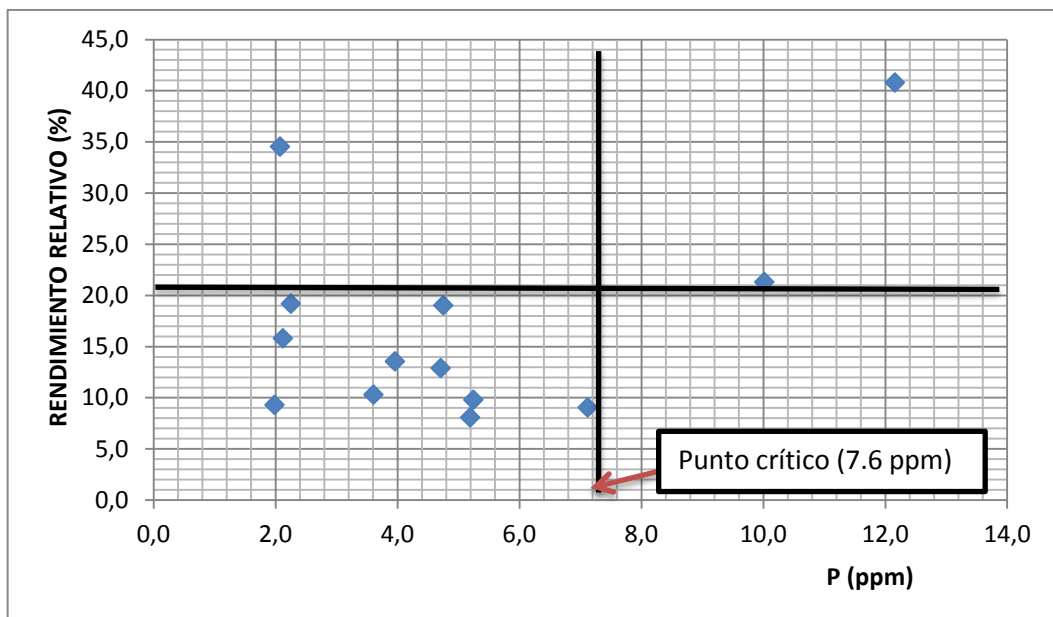
Al respecto Tisdale y Nelson, (1989) enfatizan que en suelos del trópico las reacciones suelen ser bajas o acidas debido a la existencia de óxidos, oxihidroxidos así como el aluminio insoluble, y debido a ello en esas condiciones el P deja de ser asimilable.

**Cuadro 3.4** Rendimiento Relativo de materia seca de los trece suelos.

Comunidad	Suelo	Rto. MS (sin P)	Rto. MS (con P)	Rto. Relativo (%)
Lobo Tahuantinsuyo	S1	0.093	0.437	21.281
	S2	0.047	0.347	13.545
	S3	0.03	0.190	15.789
	S4	0.043	0.477	9.015
	S5	0.223	0.547	40.768
Pueblo Libre	S6	0.433	0.533	81.238
Palestina	S7	0.017	0.183	9.290
	S8	0.067	0.197	34.010
Manitea	S9	0.037	0.287	12.892
	S10	0.027	0.263	10.266
	S11	0.033	0.337	9.792
Samaniato	S12	0.057	0.300	19.000
	S13	0.037	0.193	19.171

Por cuando a manera de corolario, la determinación o análisis del P-disponible por el método de Olsen modificado (pH 8.0) resulta adecuado para los suelos del trópico en razón a que la planta también lo expresa a través del rendimiento relativo como se muestra en el cuadro 3.4 donde la mayoría de los suelos muestran rendimientos relativos bastante bajos < 20% y tan sólo 03 de ellos pueden superar el 30%.

De otro lado el gráfico 3.24, se observa que el nivel crítico estimado por el método de Cate y Nelson, para los trece suelos de las cinco comunidades de Kimbiri es de 7.6 ppm. Por encima del cual las plantas no responderán a la fertilización fosfatada.



**Gráfico 3.24** Nivel crítico del fósforo para trece suelos del distrito de Kimbiri

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los resultados encontrados nos permite concluir y recomendar:

#### **4.1. CONCLUSIONES**

1. La Técnica del Elemento Faltante permitió constatar que en los trece suelos evaluados el contenido de P es el que limitó la producción de materia seca y que el método de Olsen modificado, extrae el nutriente disponible cuyo nivel correlaciona con la respuesta en rendimiento del cultivo, que expresa lo mismo.
2. El nivel de K disponible, extraído con acetato de sodio pH 4.8 no es expresado del mismo modo que la planta.
3. Las plantas responden a la fertilización nitrogenada y el N - orgánico no se mineraliza con facilidad.
4. En general los nutrientes que se encuentran en concentraciones bajas para la planta presenta un orden de carencia de:  $P > K > N$ .

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

1. Continuar evaluando a los suelos de selva y enfatizar en el método de extracción de K - disponible.
2. Continuar evaluando con mayor número de muestras para obtener el nivel crítico del fósforo en suelos de selva.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Alcázar, G.; Trejo, T.; Fernández, L. y Rodríguez, M. 2007. Elementos esenciales. In: Nutrición de cultivos. Editorial Mundi-Prensa-Colegio de Postgraduados. México. PP: 8-47 pp.
2. Arnon, D. y Stout, P. 1939. The essentiality of certain elements in minute quality for plants with special reference to cooper. *Plant physiol.* 14:371-375.
3. Atlas, R. y Bartha, R. 2001. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4ta. ed. Addison Wesley. Madrid, España. 677 p.
4. Barber, S. 1995. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach. John Wiley y Sons. New York. 414 p.
5. Barnard, R. 1991. Deficiency symptoms in avocados. *South African Avocados growers association yearbook.* Vol.14. pp. 67-71.
6. Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p
7. Bohn, H.; Mcneal, B. y O'connor, G. 2001. Soil Chemistry. Tercera edición. John Wiley & Sons, INC, New York. 307 p. Colombo Venezolanos, Barranquilla. 46 p.
8. Brady, N.; Weil, R. 2008. The nature and properties of soils. 14 ed. Columbus, Ohio. Pearson Prentice hall. 990p.
9. Briceño, P. y Pacheco, G. 1984. Muestreo de suelos. Instituto nacional de Investigaciones agrícolas. México. 178 p

10. Budhu, M. 2007. Soil mechanics and foundations. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p.
11. Cate, B. y Nelson, A. 1995. Un método rápido para correlación de análisis de suelos con ensayos de fertilizantes. Technical Bulletin International Testing. USA.
12. Cerda, M. 2014. Evaluación de la degradación química de suelos cocaleros y propuesta de mitigación en Kimbiri, Cusco. Informe de investigación-FCA-UNSCH.
13. Chamarro, L. 2001. Anatomía y Fisiología de la planta. In: El cultivo del tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España: 43-91 pp.
14. Cobertera, E. 1993. Edafología aplicada. Suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales. Ediciones Cátedra S.A. Madrid, España.
15. Curtis, P. 1996. Aspectos de la morfología de Angiospermas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. 134 p.
16. Desai, B.; Kotecho, M. y Salunkhe, D. 1997. Seeds handbook. Biology, production, processing and storage. Ed. Marcel Dekker. New York, U.S.A. the composition of nutrient solutions for hydroponic cropping: practical use. Acta Hort. 627 p.
17. Esquinas, A. y Nuez, F. 2001. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. In: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España 13-42 pp.
18. Fassbender, H. 1980. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 398 p.

19. Fassbender, H. 1984. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación. *Fitotecnia Latino Americana*. Vol. 3, Número 01. 398 p.
20. Fassbender, H. y Bornemisza, E. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Colección de libros y materiales educativos N° 81. IICA, San José, Costa Rica. 420 p.
21. FAO. 1986. *Guía de fertilizantes y nutrición vegetal*. Boletín 9: Fertilizantes y nutrición vegetal. Roma. 198 p.
22. Fageria, N.; Baligar, V. y Jones, CH. 1991. *Growth and Mineral Nutrition of field crops* Ed. Marcel Decker, New York, USA. 476 p.
23. Gardner, F.; Pearce R. y Mitctell, R. 1990. *Physiology of crop plants*. Second Edition. Ed iowa University Press: AMES. USA: 98-208 p.
24. Garza, L. 1985. *Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas*. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 4 p.
25. García, F. 2001. Balance del fósforo en los suelos de La Región Pampeana, *Informaciones agronómicas del Cono Sur*, 9: 1-3, INPOFOS.
26. Gómez, S. 2001. *DEVIDA - VRAE: Estudio dendrológico de las especies forestales en el VRAEM (En elaboración)*.
27. Havlin, J.; Beaton, J. D.; Tisdale, S. y Nelson, W. 1999. *Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management*. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.

28. Henriquez, C.; Berstsch, F. y Salas, R. 1995. Fertilidad de suelos manual de laboratorio. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. Costa Rica. 62p.
29. Hernández, C. 2011. Producción de tomate en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados “Campus Montecillo”, Texcoco, Estado de México, 107 p.
30. Huerres, P. y Caraballo, N. 1988. Horticultura. Ed. Pueblo y educación. La Habana, Cuba. 4-16 pp.
31. Hunziker, A. 1979. South American Solanaceae: a synoptic survey. In: Hawwkes, J.; Lester, R.; Skelding, A. (Eds.). The biology and taxonomy of the Solanaceae. Academic Press, New York & London: 4985 p.
32. Johnston, A. 2000. Oklahoma Soil Fertility Handbouk. Oklahoma St,University. (Disponible on-line <http://www.dasnr.okstate.edu/NPK>).
33. Lyttleton, L. y Buckman, H. 1952. Edafología: Naturaleza y Propiedades del suelo. Argentina.479 p.
34. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London. 889 p.
35. Martín, N. y Adad, I. 2006. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: Disciplina Ciencias del Suelo. Tomo I. Pedología. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.

36. Martini, J. 1968. Guía para la investigación del abonamiento del frijol para el PCCMCA. Publicación miscelánea N°53. Turrialba, Costa Rica. IICA/CEI. 1968. 28 p.
37. Maroto, B. 2002. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi-Prensa. 3ª edición. Madrid, España: 568 p.
38. Mela, P. 1963. Tratado de Edafología y sus distintas aplicaciones. 2ª Edición. Ed. Agrocienza. Zaragoza. 614 p
39. Mengel, K. y Kirkby, E. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ta edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p. Soil Sci. Plant Nutrition. 41, 167–172.
40. Nannipieri, P. 2003. Microbial diversity and soil functions. European Journal of Soil Science. 54:655.
41. Navarro, B. y Navarro, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487 p.
42. Palomino, R. 1987. Estado nutricional de algunos suelos agrícolas de las Provincias de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcas Huamán del departamento de Ayacucho. Tesis, UNSCH. Ayacucho, Perú.
43. Porta, J; López, M. y Roquero, C. 2003. Edafología, para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. España. Mundi-Prensa. 628p.
44. Raymond, D.1984.Cultivo práctico de hortaliza. Editorial continental s.a. mexico.256 p.

45. Roy, R.; Finck, A.; Blair, G. y Tandon, H. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. Food and agriculture organization of the United Nations. Rome.
46. Rick, C. 1978. The tomato. Sci. Amer., 239: 67-76 pp.
47. Rodríguez, R. Tavares, R. y Medina, 2001. Cultivo moderno del tomate. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 p.
48. SchenkeL, G., Baherle, T. y Fajardo, M .1970. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas experiencias preliminares .Agricultura técnica de Chile.30 (4): 173-187.
49. Saña, J.; Moré J. y Cohí, A. 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. Ed. MAPA. Madrid.
50. Sánchez. (1981). Suelos del trópico, características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José Costa Rica.633p
51. Salisbury, F. y Ross, C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México D.F.
52. Sánchez, G.; De silva, M.; Alcantar, G. y Sandoval, V. 2007. Diagnóstico nutrimental en plantas.in: Nutrición de Cultivos. Alcantar G., G., L. I. Trejo-Telles Coord. Editorial Mundi-Prensa –Colegio de Post graduados. México. Pp: 201-247.
53. Soil improvement committee California plant health association–SICCPHA. 2004. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Noriega Editores. México. 366 p.

54. Tisdale, S. y Nelson, W. 1977. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Edit. Montaner y Simón SA. Barcelona, España.
55. Tisdale, S.; Nelson W.; Beaton J. y Havlin. J. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Quinta Edición.
56. Thompson, L. 1974. El suelo y su fertilidad. Edit. Reverté. Madrid. 356 p.
57. Taiz, L y Zeiger, E. 1998. Plant physiology. 2da edición Sinauer Associates, Inc. Publishers. Massachussets
58. Valadéz, L. 1990. Producción de hortalizas. Editorial Limusa. México. 248 p.
59. Vergara, M. 1989. Apuntes del curso de nutrición vegetal. Departamento de suelos. UACH. Chapingo, México.
60. Von Haeff, J. 1983. Manuales para educación agropecuaria, Área: Producción Vegetal (16), Editorial Trillas, D.F., México: 9-53 pp.
61. Wu, J.; Nellis, M.; Ransom, M.; Price, K. y Egbert, S. 1997. Evaluation soil properties of CRP land using remote sensing and GIS in Finney County, Kansas. Journal of Soil and Water Conservation. 52: 352-358.
62. Zavaleta, A. 1992. Edafología. El Suelo en Relación con la Producción. Consejo Nacional de Ciencia y tecnología. Lima, Perú.

# ANEXOS

**Cuadro a1: Rendimiento de materia seca (g) - testigo**

TRATAMIENTO (T)		T1 = TESTIGO												
SUELO(S)		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Repetición	RI	0.06	0.03	0.02	0.04	0.12	0.02	0.01	0.05	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
	RII	0.08	0.04	0.02	0.03	0.11	0.03	0.01	0.05	0.03	0.02	0.04	0.05	0.03
	RIII	0.06	0.03	0.03	0.05	0.13	0.03	0.02	0.06	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03
TOTAL		0.2	0.1	0.07	0.12	0.36	0.08	0.04	0.16	0.07	0.07	0.09	0.13	0.1
PROMEDIO		0.0667	0.0333	0.0233	0.0400	0.1200	0.0267	0.0133	0.0533	0.0233	0.0233	0.0300	0.0433	0.0333

**Cuadro a2: Rendimiento de materia seca (g) - sin nitrógeno**

TRATAMIENTO (T)		T2 = SIN NITRÓGENO												
SUELO(S)		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Repetición	RI	0.29	0.24	0.11	0.33	0.45	0.4	0.09	0.17	0.19	0.19	0.29	0.27	0.12
	RII	0.31	0.25	0.09	0.31	0.45	0.39	0.08	0.17	0.21	0.21	0.27	0.26	0.09
	RIII	0.34	0.27	0.11	0.32	0.42	0.42	0.09	0.18	0.21	0.18	0.26	0.26	0.09
TOTAL		0.94	0.76	0.31	0.96	1.32	1.21	0.26	0.52	0.61	0.58	0.82	0.79	0.3
PROMEDIO		0.3133	0.2533	0.1033	0.3200	0.4400	0.4033	0.0867	0.1733	0.2033	0.1933	0.2733	0.2633	0.1000

**Cuadro a3: Rendimiento de materia seca (g) - sin fósforo**

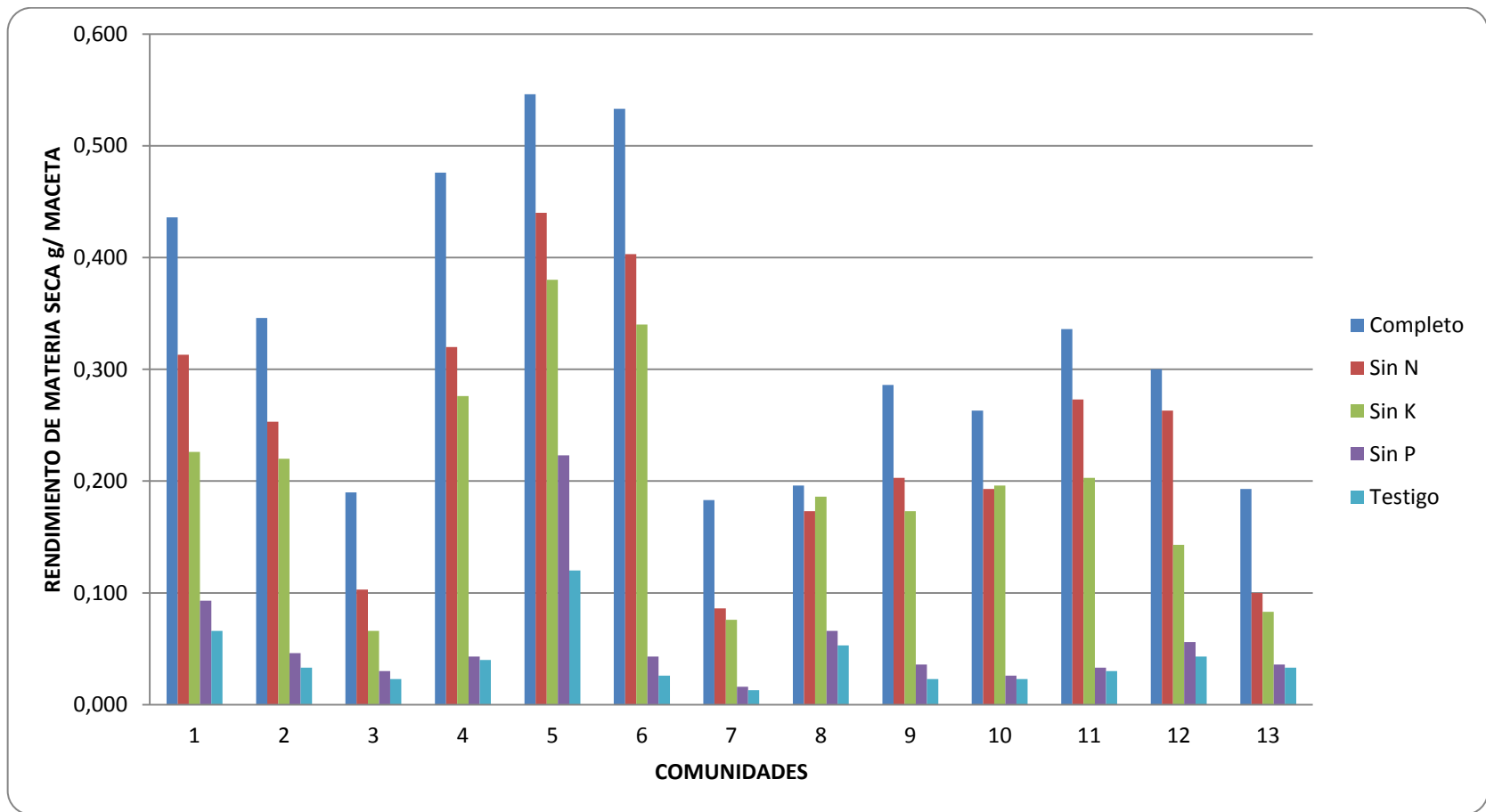
TRATAMIENTO (T)		T3 = SIN FÓSFORO												
SUELO(S)		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Repetición	RI	0.08	0.05	0.02	0.04	0.21	0.05	0.02	0.06	0.04	0.02	0.04	0.06	0.03
	RII	0.09	0.04	0.04	0.04	0.25	0.04	0.01	0.07	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04
	RIII	0.11	0.05	0.03	0.05	0.21	0.04	0.02	0.07	0.04	0.03	0.03	0.06	0.04
TOTAL		0.28	0.14	0.09	0.13	0.67	0.13	0.05	0.2	0.11	0.08	0.1	0.17	0.11
PROMEDIO		0.0933	0.0467	0.0300	0.0433	0.2233	0.0433	0.0167	0.0667	0.0367	0.0267	0.0333	0.0567	0.0367

**Cuadro a4: Rendimiento de materia seca (g) - sin potasio**

TRATAMIENTO (T)		T4 = SIN POTASIO												
SUELO(S)		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Repetición	RI	0.25	0.21	0.08	0.29	0.39	0.34	0.07	0.18	0.17	0.19	0.21	0.15	0.08
	RII	0.21	0.23	0.05	0.26	0.37	0.35	0.08	0.19	0.17	0.21	0.19	0.14	0.09
	RIII	0.22	0.22	0.07	0.28	0.38	0.33	0.08	0.19	0.18	0.19	0.21	0.14	0.08
TOTAL		0.68	0.66	0.2	0.83	1.14	1.02	0.23	0.56	0.52	0.59	0.61	0.43	0.25
PROMEDIO		0.2267	0.2200	0.0667	0.2767	0.3800	0.3400	0.0767	0.1867	0.1733	0.1967	0.2033	0.1433	0.0833

**Cuadro a5: Rendimiento de materia seca (g) - completo**

TRATAMIENTO (T)		T5 = COMPLETO												
SUELO(S)		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
repeticion	RI	0.44	0.35	0.17	0.49	0.54	0.53	0.17	0.19	0.28	0.25	0.33	0.31	0.21
	RII	0.43	0.34	0.21	0.47	0.55	0.53	0.19	0.19	0.29	0.27	0.34	0.3	0.19
	RIII	0.44	0.35	0.19	0.47	0.55	0.54	0.19	0.21	0.29	0.27	0.34	0.29	0.18
TOTAL		1.31	1.04	0.57	1.43	1.64	1.6	0.55	0.59	0.86	0.79	1.01	0.9	0.58
PROMEDIO		0.4367	0.3467	0.1900	0.4767	0.5467	0.5333	0.1833	0.1967	0.2867	0.2633	0.3367	0.3000	0.1933



**Gráfico a1;** Evaluación de los elementos faltantes en los diferentes suelos en el rendimiento de materia seca del tomate.

## SUELO S1- COMUNIDAD DE LOBO TAHUANTINSUYO

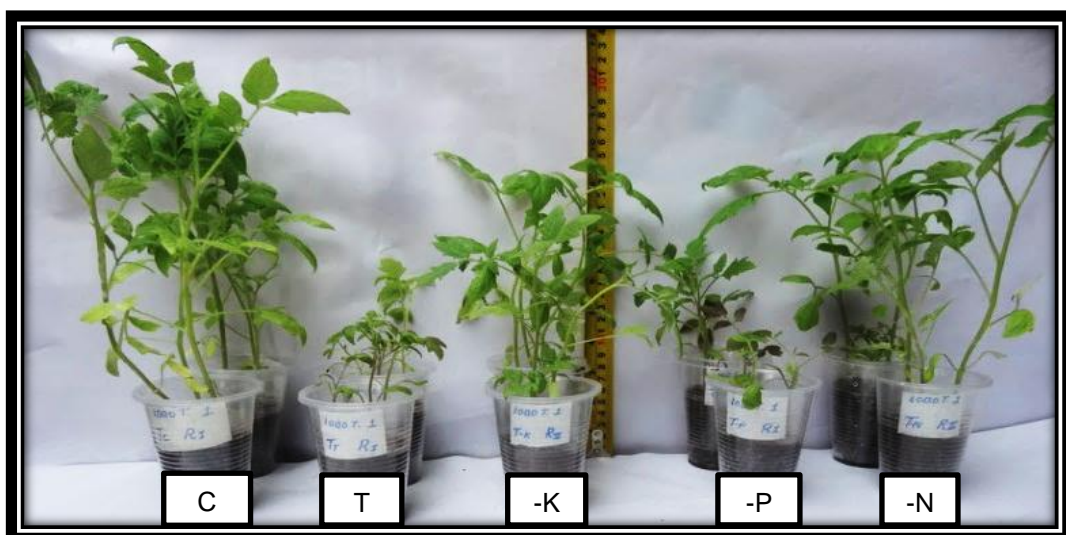
**Cuadro a6;** Datos ordenados del rendimiento de materia seca (g/maceta) de tomate de acuerdo a los tratamientos en el suelo S1.

Tratamiento	Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo		
Repetición	R I	0.29	0.08	0.25	0.44	0.06	
	R II	0.31	0.09	0.21	0.43	0.08	
	R III	0.34	0.11	0.22	0.44	0.06	
<b>Total</b>		0.94	0.28	0.68	1.31	0.20	3.410
<b>Promedio</b>		0.313	0.093	0.227	0.437	0.067	0.227

**Cuadro a7;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S1.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.426	0.107	887.86	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>Total</b>	14	0.427				

% CV=7.5



**Foto a1;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S1.

## SUELO S2 – COMUNIDAD DE LOBO TAHUANTINSUYO

**Cuadro a8;** Datos ordenados del rendimiento de materia seca (g/maceta) de tomate de acuerdo a los tratamientos en el suelo S2.

Tratamiento		Sin N	Sin P	SIN K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.24	0.05	0.21	0.35	0.03	
	R II	0.25	0.04	0.23	0.34	0.04	
	R III	0.27	0.05	0.22	0.35	0.03	
<b>Total</b>		0.76	0.14	0.66	1.04	0.1	2.7
<b>Promedio</b>		0.253	0.047	0.22	0.347	0.033	0.18

**Cuadro a9;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S2.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.222	0.056	640.769	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>Total</b>	14	0.223				

% CV=18.21



**Foto a2;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S2.

## SUELO S3 – COMUNIDAD DE LOBO TAHUANTINSUYO

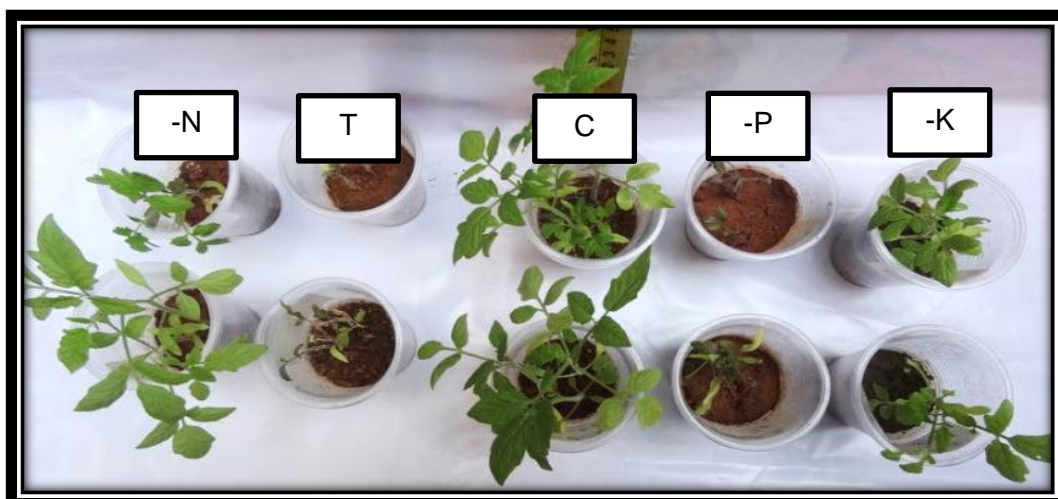
**Cuadro a10;** Datos ordenados del rendimiento de materia seca (g/maceta) de tomate de acuerdo a los tratamientos en el suelo S3 .

Tratamiento		sin N	sin P	sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.11	0.02	0.08	0.17	0.02	
	R II	0.09	0.04	0.05	0.21	0.02	
	R III	0.11	0.03	0.07	0.19	0.03	
<b>Total</b>		0.31	0.09	0.2	0.57	0.07	1.240
<b>Promedio</b>		0.103	0.030	0.067	0.190	0.023	0.083

**Cuadro a11;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S3 .

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.055	0.014	77.074	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.002	0.0002			
<b>Total</b>	14	0.057				

% CV =16.23



**Foto a3;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S3.

## SUELO S4 – COMUNIDAD DE LOBO TAHUANTINSUYO

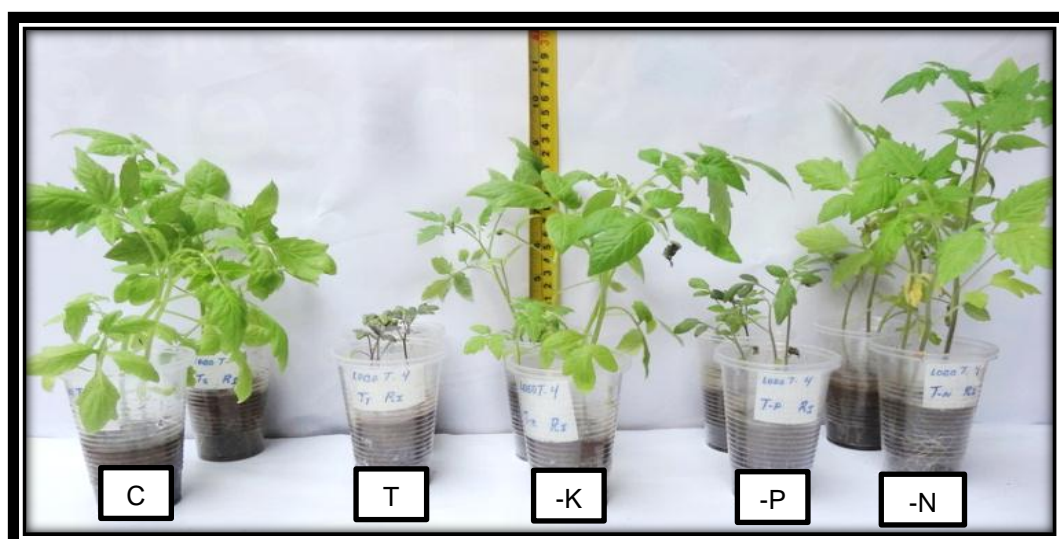
**Cuadro a12;** Prueba de Tukey para el r  $^{\circ}$ endimiento promedio de materia seca en g/maceta en el suelo S4 .

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.33	0.04	0.29	0.49	0.04	
	R II	0.31	0.04	0.26	0.47	0.03	
	R III	0.32	0.05	0.28	0.47	0.05	
<b>Total</b>		0.96	0.13	0.83	1.43	0.12	3.470
<b>Promedio</b>		0.320	0.043	0.277	0.477	0.040	0.231

**Cuadro a13;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S4 .

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					0.05	0.01
<b>Tratamientos</b>	4	0.426	0.107	887.86	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>TOTAL</b>	14	0.427				

% CV =4.74



**Foto a4.** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S4.

## SUELO S5 – COMUNIDAD DE LOBO TAHUANTINSUYO

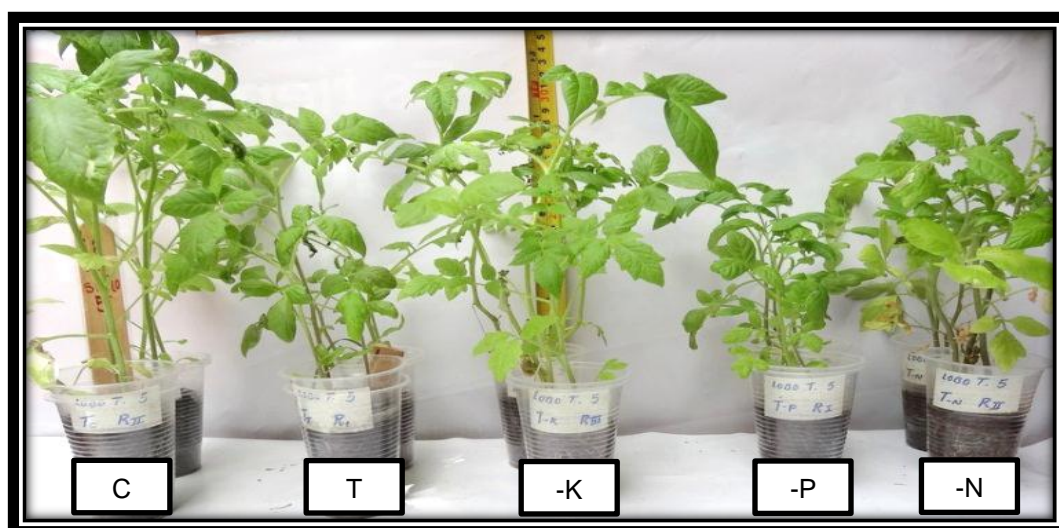
**Cuadro a14;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta en el suelo S5.

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.45	0.21	0.39	0.54	0.12	
	R II	0.45	0.25	0.37	0.55	0.11	
	R III	0.42	0.21	0.38	0.55	0.13	
<b>Total</b>		1.32	0.67	1.14	1.64	0.36	5.130
<b>Promedio</b>		0.440	0.223	0.380	0.547	0.120	0.342

**Cuadro a15;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S5.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.349	0.087	408.875	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.002	0.0002			
<b>Total</b>	14	0.351				

% CV = 4.27



**Foto a5.** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S5.

## SUELO S6 – COMUNIDAD DE PUEBLO LIBRE

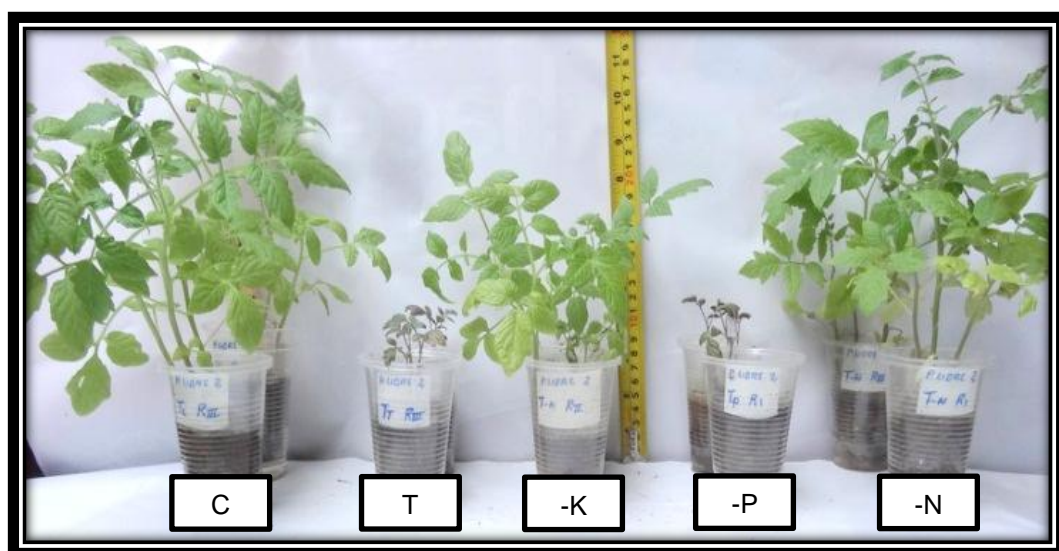
**Cuadro a16;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta.

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.4	0.05	0.34	0.53	0.02	
	R II	0.39	0.04	0.35	0.53	0.03	
	R III	0.42	0.04	0.33	0.54	0.03	
<b>Total</b>		1.21	0.13	1.02	1.6	0.08	4.040
<b>Promedio</b>		0.403	0.043	0.340	0.533	0.027	0.269

**Cuadro a17;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S6.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.608	0.152	1753.346	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>Total</b>	14	0.609				

% CV = 3.46



**Foto a6.** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S6.

## SUELO S7- COMUNIDAD DE PALESTINA

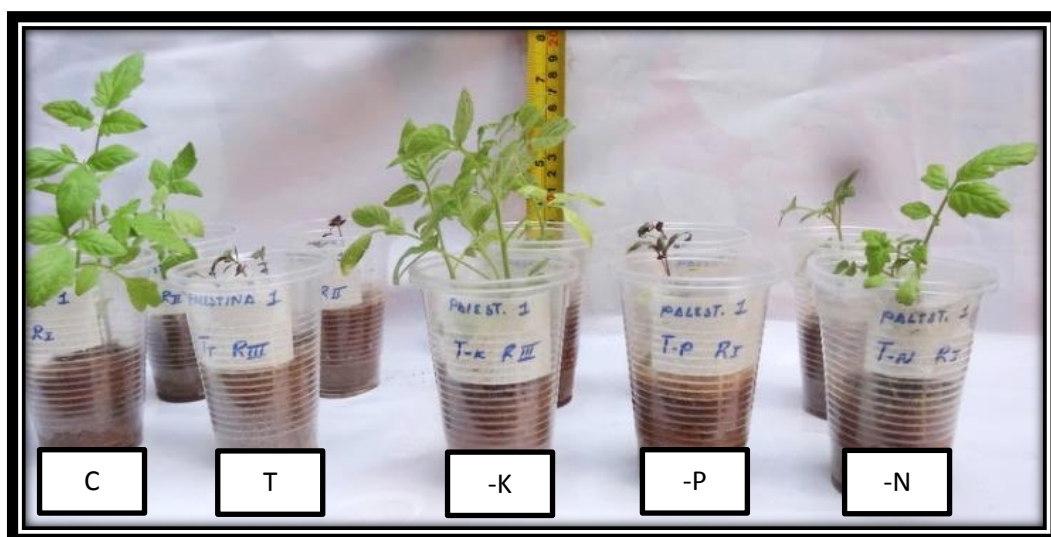
**Cuadro a18;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta.

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.09	0.02	0.07	0.17	0.01	
	R II	0.08	0.01	0.08	0.19	0.01	
	R III	0.09	0.02	0.08	0.19	0.02	
Total		0.26	0.05	0.23	0.55	0.04	1.130
Promedio		0.087	0.017	0.077	0.183	0.013	0.075

**Cuadro a19;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S7.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.057	0.014	268.313	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>Total</b>	14	0.058				

% CV=9.69



**Foto N° a7;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S7.

## SUELO S8 - COMUNIDAD DE PALESTINA

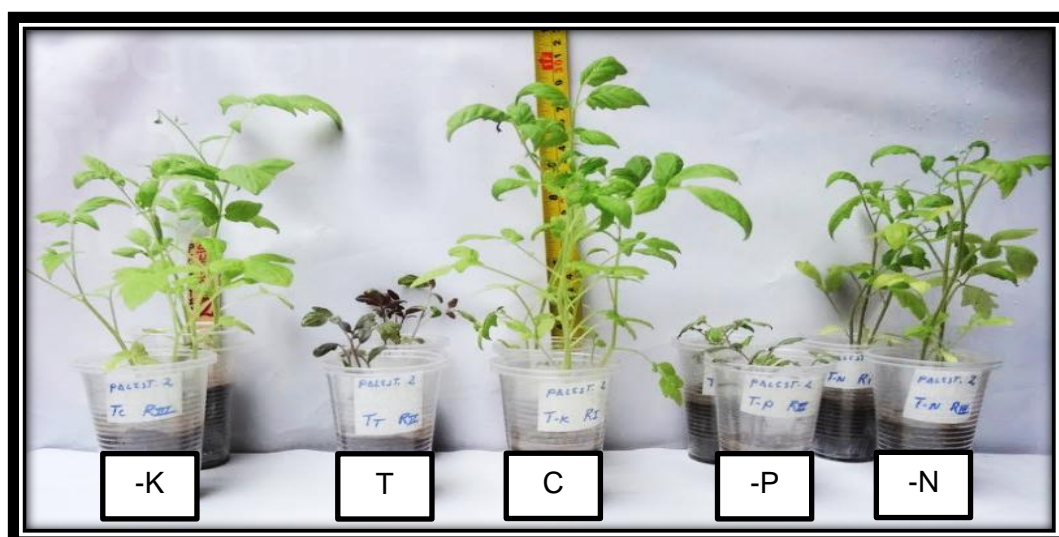
**Cuadro a20;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta.

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.17	0.06	0.18	0.19	0.05	
	R II	0.17	0.07	0.18	0.19	0.05	
	R III	0.18	0.07	0.19	0.21	0.06	
<b>Total</b>		0.52	0.2	0.55	0.59	0.16	2.020
<b>Promedio</b>		0.173	0.067	0.183	0.197	0.053	0.135

**Cuadro a21;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S8.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.057	0.014	266.438	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>Total</b>	14	0.057				

% CV = 5.42



**Foto a8;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S8.

## SUELO S9 - COMUNIDAD DE MANITEA

**Cuadro a22;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta .

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.19	0.04	0.17	0.28	0.02	
	R II	0.21	0.03	0.17	0.29	0.03	
	R III	0.21	0.04	0.18	0.29	0.02	
<b>Total</b>		0.61	0.11	0.52	0.86	0.07	2.170
<b>Promedio</b>		0.203	0.037	0.173	0.287	0.023	0.145

**Cuadro a23;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S9.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
Tratamientos	4	0.152	0.038	714.562	3.48*	5.99**
Error	10	0.001	0.0001			
Total	14	0.153				

% CV = 5.05



**Foto a9;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S9.

## SUELO S10 - COMUNIDAD DE MANITEA

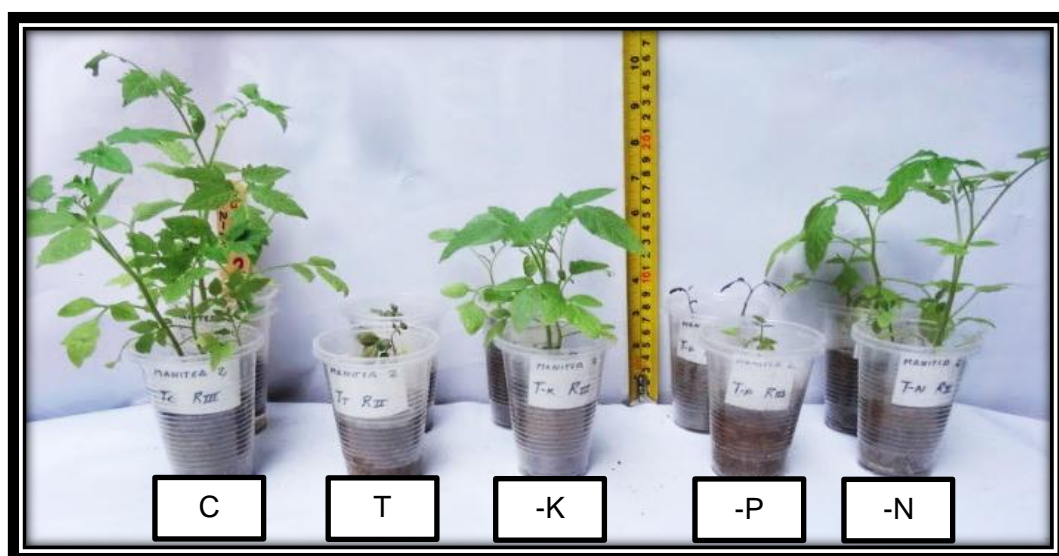
**Cuadro a24;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta.

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.19	0.02	0.19	0.25	0.02	
	R II	0.21	0.03	0.21	0.27	0.02	
	R III	0.18	0.03	0.19	0.27	0.03	
<b>Total</b>		0.58	0.08	0.59	0.79	0.07	2.110
<b>Promedio</b>		0.193	0.027	0.197	0.263	0.023	0.141

**Cuadro a25;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S10.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.143	0.036	315.794	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>Total</b>	14	0.144				

% CV= 7.57



**Foto a10;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S10.

## SUELO S 11 - COMUNIDAD DE MANITEA

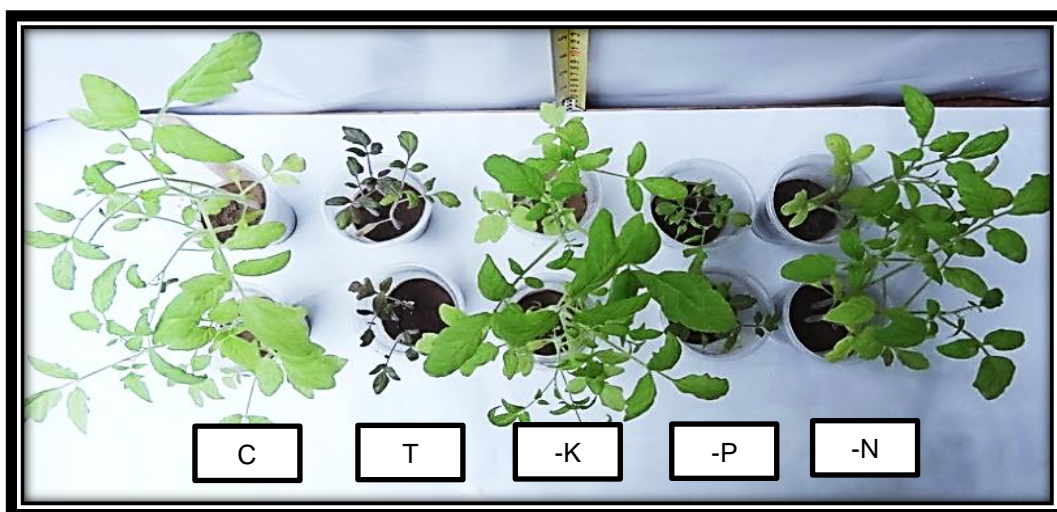
**Cuadro a26;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta.

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.29	0.04	0.21	0.33	0.03	
	R II	0.27	0.03	0.19	0.34	0.04	
	R III	0.26	0.03	0.21	0.34	0.02	
<b>Total</b>		0.82	0.1	0.61	1.01	0.09	2.630
<b>Promedio</b>		0.273	0.033	0.203	0.337	0.030	0.175

**Cuadro a27;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S11.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.233	0.058	546.344	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.001	0.0001			
<b>Total</b>	14	0.234				

% CV = 5.89



**Foto a11;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S11.

## SUELO S 12 - COMUNIDAD DE SAMANIATO

**Cuadro a28;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta en el suelo S12 .

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.27	0.06	0.15	0.31	0.04	
	R II	0.26	0.05	0.14	0.3	0.05	
	R III	0.26	0.06	0.14	0.29	0.04	
<b>Total</b>		0.79	0.17	0.43	0.9	0.13	2.420
<b>Promedio</b>		0.263	0.057	0.143	0.300	0.043	0.161

**Cuadro a29;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S12.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.165	0.041	881.286	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.0005	0.00005			
<b>Total</b>	14	0.165				

% CV= 4.23



**Foto a12;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S12.

## SUELO S13 - COMUNIDAD DE SAMANIATO

**Cuadro a30;** Prueba de Tukey para el rendimiento promedio de materia seca en g/maceta en el suelo S13.

Tratamiento		Sin N	Sin P	Sin K	Completo	Testigo	
Repetición	R I	0.11	0.03	0.08	0.21	0.04	
	R II	0.09	0.04	0.09	0.19	0.03	
	R III	0.09	0.04	0.08	0.18	0.03	
<b>Total</b>		0.29	0.11	0.25	0.58	0.10	1.330
<b>Promedio</b>		0.097	0.037	0.083	0.193	0.033	0.089

**Cuadro a31;** ANVA de la producción de materia seca en el suelo S13.

F .de V.	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	
					5%	1%
<b>Tratamientos</b>	4	0.050	0.013	135.107	3.48*	5.99**
<b>Error</b>	10	0.0009	0.00009			
<b>Total</b>	14	0.051				

% CV= 10.90



**Foto a13;** Plantas de tomate con los cinco tratamientos en el suelo S13

## FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

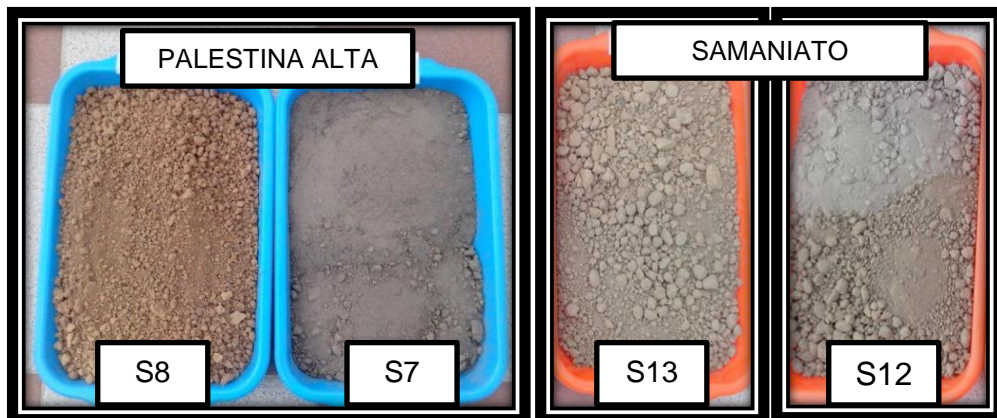
Preparación de suelos.



Pesado de las muestras para cada unidad experimental.



Suelos de las trece comunidades del distrito de kimbiri.



Trasplante del tomate en las unidades experimentales.



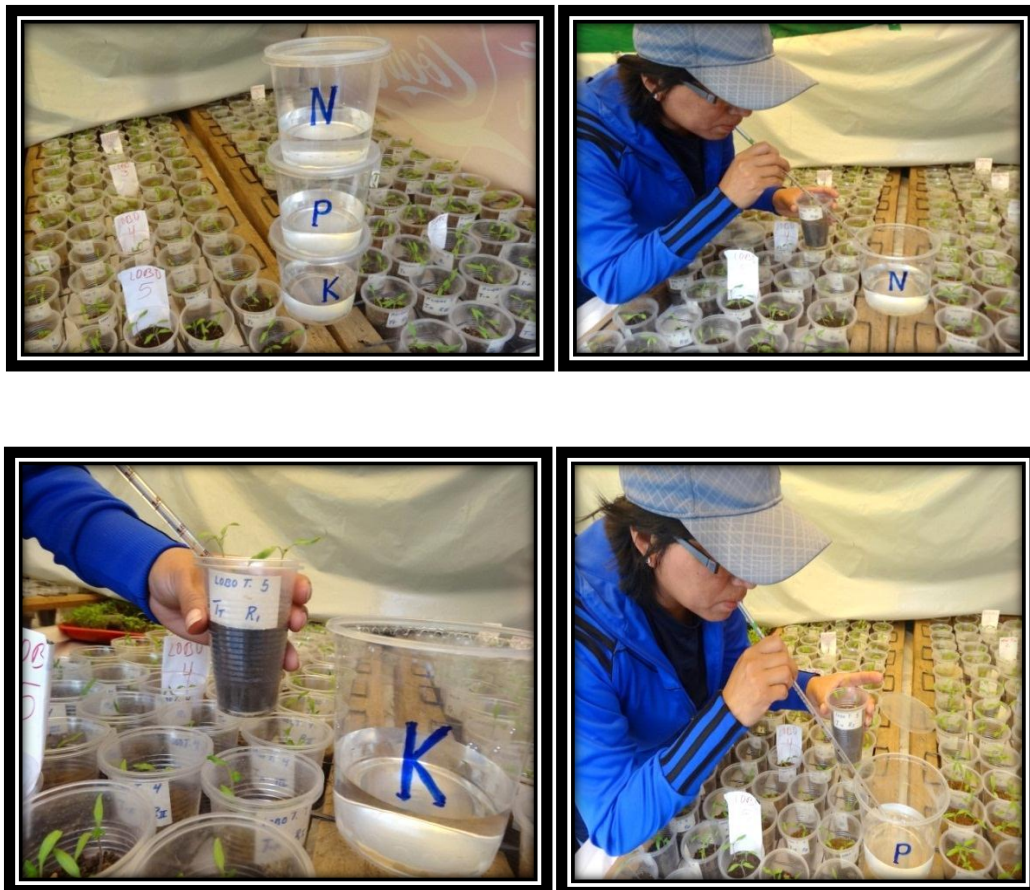
Unidades experimentales trasplantadas.



Preparación de la solución nutritiva en el laboratorio.



Aplicación de la solución nutritiva en las unidades experimentales.



Unidades experimentales a los 25 días.



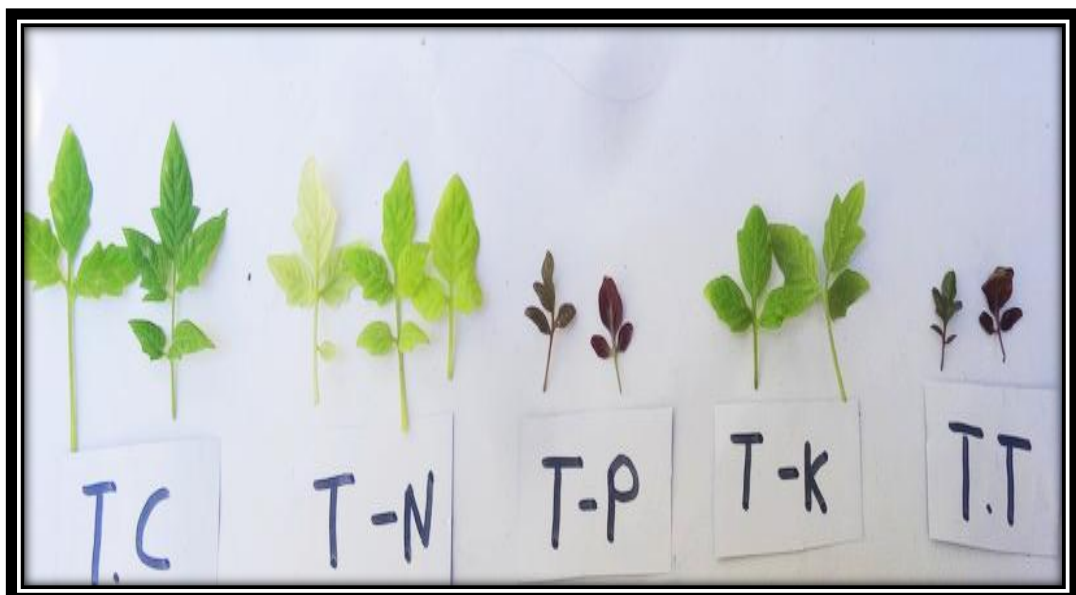
Unidades experimentales a un mes



Unidades experimentales a los dos meses.



Hojas del tomate mostrando la deficiencia de nutrientes en los cinco tratamientos.



Etiquetado de las muestras para ser llevado a la estufa.



Pesado de las muestras para la obtención de la materia seca.

