

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Densidad óptima de tomate y cebada, como indicadores en
la evaluación de la fertilidad de suelos por las técnicas del
elemento faltante y presente.**

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

**PRESENTADO POR:
Iván Carrasco Gavilán**

Ayacucho - Perú

2017

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres: Agripino y Alicia, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mis adorados hijos: Anthony, Fabricio y Diego, quienes constituyen el mayor regalo que Dios me ha dado, a ellos les quiero dedicar muy especialmente este esfuerzo.

A mi esposa, por su comprensión y sacrificar su tiempo para que yo pudiera cumplir con el mio, me inspiraste a ser mejor para ti, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTO

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

A la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, y a sus docentes quienes han contribuido en mi formación profesional.

Mis sinceros agradecimientos, al Ing° Rodolfo Alca Mendoza y al Ing° Alex Lázaro Tineo Bermúdez, asesores del presente trabajo, por sus orientaciones durante la formulación del proyecto, procesamiento de datos y redacción del documento.

Al Ing° Esteban Quispe Gómez, por su paciencia y la colaboración que me ha brindado en la ejecución del presente trabajo.

De la misma manera, mi sincera gratitud a todos mis amigos y compañeros, quienes de una u otra manera colaboraron en la ejecución y culminación del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice general.....	iii
Resumen.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	
1.1 Generalidades.....	5
1.2 Pasado y presente de la fertilidad del suelo.....	6
1.3 Métodos de evaluación de la fertilidad del suelo.....	10
1.4 Factores que afectan la disponibilidad de los elementos nutritivos del suelo...	15
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	
2.1 Ubicación.....	25
2.2 La muestra del suelo.....	25
2.3 Naturaleza del estudio.....	26
2.4 Factores, tratamiento y diseño experimental.....	26
2.5 Instalación y conducción del experimento.....	27
2.6 Criterios de evaluación.....	31
2.7 Procesamiento de la información.....	31
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
3.1. Rendimiento de materia seca (ms) de tomate.....	33
3.1.1. Rendimiento de MS de tomate (1 planta/maceta).....	33
3.1.2. Rendimiento de materia seca de tomate (2 plantas/maceta).....	35
3.1.3. Rendimiento de materia seca de tomate (3 plantas/maceta).....	37
3.2. Rendimiento de materia seca de cebada.....	39
3.2.1. Rendimiento de materia seca de cebada (3 plantas/maceta).....	39
3.2.2. Rendimiento de materia seca de cebada (6 plantas/maceta).....	41
3.2.3. Rendimiento de materia seca de cebada (9 plantas/maceta).....	42
3.3 Correlación entre las técnicas del elemento faltante y presente.....	45

Conclusiones.....	47
Recomendaciones.....	48
Referencia Bibliográfica.....	49
Anexos.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 2.1.	Características químicas del suelo. Cayara, Víctor Fajardo Ayacucho.....	25
Tabla 2.2.	Tratamientos en el D3J; parte factorial (2K; K = 3).....	26
Tabla 3.1.	ANVA del rendimiento de materia seca de tomate (1 planta/maceta).....	33
Tabla 3.2.	Prueba de Duncan para rendimiento de MS de tomate (1 planta/maceta).....	34
Tabla 3.3.	ANVA del rendimiento de materia seca de tomate (2 plantas/maceta).....	35
Tabla 3.4.	Prueba de Duncan para rendimiento de MS de tomate (2 plantas/maceta).....	36
Tabla 3.5.	ANVA del rendimiento de materia seca de tomate (3 plantas/maceta).....	37
Tabla 3.6.	Prueba de Duncan para rendimiento de M.S. de tomate (3 plantas/maceta).....	38
Tabla 3.7.	ANVA del rendimiento de materia seca de cebada (3 plantas/maceta).....	39
Tabla 3.8.	Prueba de Duncan para rendimiento de MS de cebada (3 plantas/maceta).....	40
Tabla 3.9.	ANVA del rendimiento de materia seca de cebada (6 plantas/maceta).....	41
Tabla 3.10.	Prueba de Duncan para rendimiento de MS de cebada (6 plantas/maceta).....	41
Tabla 3.11.	ANVA del rendimiento de materia seca de cebada (9 plantas/maceta).....	43
Tabla 3.12.	Prueba de Duncan para rendimiento de MS de cebada (9 plantas/maceta).....	43
Tabla 3.13.	Matriz de coeficientes de correlación simple, para rendimientos relativos con elemento faltante (EF) y elemento presente (EP), en tomate (T) y cebada (C).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Bandeja para suministro de agua a macetas.....	27
Figura 2.2. Soporte para las macetas (vasos de plástico).....	28
Figura 2.3. Maceta con pabilo para riego por capilaridad.....	28
Figura 2.4. Suministro de nutrientes en las macetas.....	29
Figura 2.5. Macetas con plantas de tomate.....	29
Figura 2.6. Macetas con plantas de cebada.....	30
Figura 3.1. Respuesta del tomate (1 planta/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes.....	35
Figura 3.2. Respuesta del tomate (2 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes.....	37
Figura 3.3. Respuesta del tomate (3 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes.....	39
Figura 3.4. Respuesta de la cebada (3 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes.....	40
Figura 3.5. Respuesta de la cebada (6 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes.....	42
Figura 3.6. Respuesta de la cebada (9 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Análisis de suelo.....	53
Anexo 2. Panel fotográfico.....	54

RESUMEN

El trabajo se realizó con la finalidad de determinar la relación que existe entre las diferentes densidades de tomate y cebada, los rendimientos relativos de materia seca del cultivo (obtenidos por las técnicas del elemento faltante y del elemento presente), y los resultados de los análisis de suelos, mediante un ensayo en macetas en invernadero, para el diagnóstico de la fertilidad química del suelo, en cuanto a N, P, K, de un suelo agrícola; se utilizó una muestra de suelo con un contenido bajo en N total (0,1%), ligeramente alto en P disponible (19,9 ppm) y muy alto en K disponible (315 ppm) y como plantas indicadoras a diferentes densidades (unidades por maceta), tomate (1, 2 y 3) y cebada (3, 6 y 9). Los resultados indican que estas especies se comportan de diferente manera: 1.- Las plantas indicadoras estudiadas responden al abonamiento con N, P y K, en el suelo empleado, manifestándose mejor a la inclusión de N, en la técnica del elemento presente o a la omisión de N en la técnica del elemento faltante; resultados que guardan relación con el bajo contenido de nitrógeno del suelo (0,10%), así como con los niveles alto y muy alto de P (19,93 ppm) y K (315 ppm) disponibles. El orden de deficiencia de nutriente (N, P y K) detectado con el tomate coincide con el contenido de estos nutrientes determinados en el análisis del suelo. 2.- El tomate como planta indicadora es más sensible que la cebada; en la técnica del elemento faltante la no inclusión de N se traduce en rendimientos relativos más bajos (41,23%), respecto a la cebada (71,20%); la no inclusión de P también afecta algo al tomate (66.67%), mientras que la cebada no es muy sensible a esta reducción del rendimiento de materia seca (89,20%).

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico de la fertilidad de los suelos se puede comparar en gran parte con el diagnóstico de las enfermedades humanas. El médico observa al paciente, obtiene toda la información posible mediante pruebas adecuadas, cada una de las cuales le ayuda a diagnosticar el caso. De modo similar el agrónomo observa las plantas, obtiene información sobre los métodos aplicados anteriormente y efectúa las pruebas apropiadas al suelo o a la planta; el éxito del diagnóstico depende de la correcta comprensión de las necesidades fundamentales de la planta y del suelo y de la interpretación exacta de los datos. La evaluación de la fertilidad del suelo es una labor muy compleja, por la diversidad de condiciones físicas, químicas y biológicas que interactúan. Diversas técnicas que se emplean comúnmente se aproximan a determinar el grado de fertilidad de un suelo; dos de ellas son las pruebas químicas del suelo, y las pruebas biológicas, esta última caracterizada por el crecimiento de las plantas superiores que se utiliza como medida de la fertilidad del suelo, considerando que ella es producto de la respuesta a la interacción suelo/clima.

El crecimiento de las plantas tiene mucha importancia en el estudio de los requerimientos de nutrientes y se ha dedicado una gran atención a este método para medir el estado de fertilidad de los suelos. Tineo (2004) propuso por primera vez la “Técnica del elemento presente”, para contrastar con la “Técnica del elemento faltante” desarrollado por Martini (1969).

Por estas consideraciones se planteó el presente trabajo con los objetivos siguientes:

Objetivo general:

Determinar la relación que existe entre las diferentes densidades de tomate y cebada en maceta, los rendimientos relativos de materia seca del cultivo (obtenidos por las técnicas

del elemento faltante y del elemento presente), y los resultados de los análisis de suelos, mediante un ensayo en macetas en invernadero, para el diagnóstico de la fertilidad química, en cuanto a N, P, K, de un suelo agrícola.

Objetivos específicos:

1. Determinar la densidad adecuada de tomate y cebada en macetas, en invernadero, como plantas indicadoras, para el diagnóstico de la fertilidad química (N,P,K) en un suelo agrícola de Huamanga, Ayacucho, mediante las técnicas del elemento faltante y del elemento presente.
2. Determinar el grado de correlación entre los rendimientos relativos obtenidos por las técnicas del elemento faltante y del elemento presente, y los resultados de los análisis de suelos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. GENERALIDADES

El suelo es un ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan las plantas. Es un ente, porque tiene vida; tridimensional, porque es visto a lo largo, ancho y profundidad; trifásico, porque existe fase sólida, líquida y gaseosa; dinámico, porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente. Además, es el medio natural donde crecen las plantas; por tanto, sirve como soporte (FERTITEC S.A. 2007).

El suelo es un "gran proveedor", el almacén de la naturaleza que proporciona el sustento necesario para el hombre, los animales y las plantas. Sin duda en el mundo se está llegando a un déficit de alimentos de manera generalizada tornándose por ende en peligro cada vez mayor (Teuscher et al. 1981).

La falta de algunos elementos esenciales terminaría directamente con la vida vegetal o restringiría seriamente los procesos fisiológicos (Rodríguez 1982).

Ahora más que nunca se reconoce la importancia de un adecuado suministro de elementos nutritivos para la nutrición de las plantas. Administrados en el suelo para incrementar o mantener la fertilidad del suelo (Tisdale y Nelson 1985).

El efecto cuantitativo es, sin duda, el más notable como se deduce del hecho de que en las últimas décadas se hayan registrado aumentos en las producciones unitarias realmente sorprendentes, que obviamente, se debe a la mejor aplicación por parte del agricultor de todas las técnicas agrícolas (variedades seleccionadas, mecanización, control

fitosanitario, utilización de agua, corrección y conservación del suelo, etc.), sin que pueda ocultarse la influencia manifiesta de la fertilización.

La fertilización tiene una trascendencia mundial, ya que es uno de los medios más efectivos para desarrollar la producción agrícola y paliar el grave déficit alimenticio que viene produciendo la población humana.

1.2. PASADO Y PRESENTE DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

La agricultura comenzó con el hombre nómada cuando este empezó a cultivar plantas y criar animales, ya que anteriormente se alimentaba de la recolección y la caza; transformándose así de vagabundo en sedentario desarrollando familias, tribus y poblados; luego llegó a desarrollar el arte que hoy llamamos agricultura (Tisdale y Nelson 1985).

Al parecer, la primera vez que se habló de fertilidad de suelos fue en lo que hoy es Iraq, antiguo territorio del Imperio Persa. En la Mesopotamia, unos 2500 años antes de Cristo, aparecieron escrituras que hablaban de la fertilidad del suelo indicando que había suelos en los cuales se podían obtener “86 veces más rendimientos que en otros”, lo que significaba que por cada unidad sembrada en un suelo se cosechaban 86, mientras que en otros no.

Consiguientemente en la Odisea de Homero se menciona el uso de estiércol como abono 900 años antes de Cristo.

Teofrasto (372-287 a.C.) recomendó el uso abundante de estiércol en suelos con capa vegetal fina y poco estiércol en suelos con capa vegetal gruesa; abundante abonado de los suelos poco profundos y los suelos ricos sean escasamente abonados, también afirmó que las plantas con altas necesidades nutricionales, eran las que necesitaban grandes cantidades de agua. Reconociendo así el valor del estiércol y el efecto (Tisdale y Nelson 1985).

El uso de leguminosas como abono verde fue mencionado por el poeta romano Virgilio (70-19 a.C.).

El uso de fertilizantes minerales no fue muy conocido en la antigüedad pero Teofrasto y Plinio mencionan al nitrato de potasio (KNO_3), como muy útil para fertilizar las plantas; Esto también se menciona en la Biblia en el libro de Lucas.

Muchos escritores antiguos creían que la fertilidad de un suelo podía determinarse por su color. La idea general era, que si un suelo era de color negro era muy bueno y si era de color claro era malo. Sin embargo, Columela (escritor romano sobre asuntos agrícolas del primer siglo), desafió esa teoría indicando que muchos suelos de Libia eran de color claro y de gran fertilidad (Tisdale y Nelson 1985).

La edad antigua fue dominada por la cultura, ideas y prácticas agrícolas griegas que eran las más avanzadas. Con la aparición del imperio romano, éstos copiaron las ideas griegas y no se recuerda de aportes importantes en el campo agrícola durante ese periodo (Tisdale y Nelson 1985).

Después de la caída de Roma, pocas contribuciones importantes aparecieron respecto a las prácticas agrícolas, hasta que apareció un libro titulado *Opus Ruralium Commodorum* escrito por Pietro Crescenzi (1207-1307). Este libro era una recopilación de las prácticas agrícolas desde los tiempos antiguos hasta su era. Él refirió un incremento en el uso de estiércol como abono, es decir, cada día se usaba más y más estiércol (Tisdale y Nelson 1985).

Pero transcurrieron los siglos hasta que el hombre empezó a trabajar racionalmente para hallar la solución de los problemas agrícolas a los que se enfrentaba.

Alrededor de los comienzos del siglo XVII, Francis Bacon (1561-1624), hizo notar que el principal alimento de las plantas era el agua. Creía que la principal función del suelo era mantener a las plantas erguidas y protegerlos del frío y calor. Prosiguiendo con la investigación en la misma línea Jean Baptiste Van Helmont (1577-1644) también concluyó que las plantas crecían a partir del agua; pero Robert Boyle (1627-1691) afirmó que las plantas contenían sales, energía, tierra y aceite, todo ello formado por el agua (Tisdale y Nelson 1985).

Al mismo tiempo, J.R. Glauber (1604-1688) un químico alemán, sugirió que el KNO_3 era el “principio de la vegetación”, y no el agua; él recogió y separó KNO_3 del suelo que quedaba debajo del estiércol del ganado y supuso que provenía de los animales. Cuando él aplicó este producto a las plantas éstas crecían rápidamente, por tanto, estaba convencido de que crecían debido al KNO_3 y no debido al agua. El nitrato de potasio (KNO_3) es un fertilizante muy usado en nuestros días en ferti-irrigación (Tisdale y Nelson 1985).

John Woodward (1665-1728) quien conocía los trabajos de Van Helmont y de Boyle, sembró menta en varias muestras de agua que había coleccionado: agua lluvia, agua de río, agua cloacal y agua cloacal mezclada con restos vegetales. Cuidadosamente midió la cantidad de agua transpirada por la planta y anotó los pesos inicial y final de la misma. Él encontró que el crecimiento de la menta fue proporcional a la cantidad de impurezas en el agua y concluyó que la materia terrestre o tierra era el principio del crecimiento vegetal y no el agua. Aunque su conclusión no fue completamente correcta, representó un gran avance (Tisdale y Nelson 1985).

Durante muchos años los científicos buscaron el “principio de la vegetación”, o sea, la sustancia única que hacía crecer las plantas. En el año 1775, Francis Home (1719-1813), estableció que no había “un principio” sino varios, entre los que incluyó: aire, agua, tierra, sales, aceite y fuego (en un estado fijo); él llevó a cabo experimentos en potes en los que medía el efecto de diferentes sustancias sobre el crecimiento de las plantas e hizo análisis químicos de ellas. Su trabajo fue considerado valiosísimo (Tisdale y Nelson 1985).

En el siglo XIX Teodoro Saussure demostró que las plantas absorbían oxígeno y liberaban dióxido de carbono, la principal materia de la respiración (Tisdale y Nelson 1985).

Liebig también opinaba que el crecimiento de las plantas era proporcional a la cantidad de sustancias minerales asimilables contenidas en el fertilizante; como también realizó una formulación de la mezcla perfecta, pero cometió un error al mezclar las sales de fósforo y potasio con la cal fue un completo fracaso. Sin embargo, la contribución de

Liebig al avance de los agricultores fue enorme, y es quizá muy justamente reconocido como el padre de la química agrícola (Tisdale y Nelson 1985).

Liebig, demostró que la planta no utilizaba el estiércol tal cual, sino que absorbía las sales minerales que resultan de su descomposición después de disolverse en la solución del suelo. Aunque, después de Liebig, se encontró que la planta era capaz de absorber, en cantidades mínimas, algunas moléculas orgánicas, complejos, conocidos como factores de crecimiento, prácticamente, la totalidad de los alimentos tomados del suelo son en estado mineral y no de otra forma. Estos elementos minerales se absorben en forma de aniones y de cationes (Gros 1981).

Sir Krelur Digley escribió sobre la posibilidad de doblar el rendimiento de las cosechas mediante la aplicación de salitre. También los primeros colonizadores encontraron que los indios de Norteamérica usaban el pescado y los indios de Sudamérica el guano, para incrementar el desarrollo de sus cultivos. Es probable también que el empleo de cenizas, cal, estiércol y materias similares experimentase un nuevo adelanto (Millar y Hernando 1964).

Lawes y Gilbert doce años después de la fundación de una estación experimental de agricultura en Rothamsted encontraron los siguientes principios:

- a. Los cultivos requieren fósforo y potasio.
- b. Las plantas no leguminosas requieren de un suplemento de Nitrógeno.
- c. La fertilidad del suelo puede ser mantenida durante algunos años con el empleo de fertilizantes químicos.

En los primeros años del siglo XX la mayoría de las estaciones experimentales habían establecido campos de prueba que demostraban los notables beneficios de la fertilización. Como resultado de estos experimentos, el mayor problema de la fertilidad del suelo puede ser delimitado de una manera clara.

Pronto se demostró que no se podían hacer recomendaciones de fertilización basadas en tales conocimientos. Cada finca requería una atención individual y también cada campo dentro de ella. Todos los trabajos que realizaron dieron frutos, porque la producción

agrícola en los países avanzados es más alta y el mundo libre en su conjunto, está en la actualidad mejor alimentado, vestido y cobijado como en ningún otro tiempo pasado.

El progreso de la agricultura depende grandemente de la investigación, los avances hechos hacia finales del siglo XIX y XX han sido la base de nuestros adelantos. Está narración que significo tiempo, esfuerzo e inteligencia, que han sido aplicados en los últimos 4500 años en acumular lo son todavía insuficientes conocimientos (Tisdale y Nelson 1985).

En el siglo XX se inicia la fabricación industrial y el uso masivo de los fertilizantes, siendo la fijación industrial del amoniaco (NH_3) uno de los hechos más importantes. Esta técnica fue creada por dos científicos alemanes, Haber y Bosch, en 1910, y permitió la fabricación de la urea y demás abonos nitrogenados a gran escala y a bajos precios. Hay que destacar que la investigación sobre el amoniaco, fue conducida con propósitos militares y no agrícolas.

1.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO.

La evaluación de la fertilidad de un suelo, nos permite diagnosticar y predecir la disponibilidad de los elementos nutritivos en un determinado suelo. Para suministrar en cantidades razonables y en equilibrio adecuado todos los principios nutritivos que una planta toma de las fracciones minerales y orgánicas del suelo, además estar localizado en una zona climática que proporcione la humedad, la luz y el calor suficientes para las necesidades de las plantas. Así mismo, las materias tóxicas no deben figurar en cantidades suficientes que limiten de un modo apreciable el crecimiento y las condiciones estructurales del suelo que deben ser satisfactorios (Millar y Hernando 1964). El problema de predicción de las necesidades de nutrientes para las plantas, ha sido estudiado durante muchos años. En 1813 Sir Humphrey Davy, afirmó que, si un suelo es improductivo, la causa de su esterilidad puede ser determinada con un análisis químico (Tisdale y Nelson 1985).

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, la probabilidad de respuesta a la aplicación de cal y fertilizantes (Palomino 1987).

Un exceso de cal, puede resultar más perjudicial que una cantidad insuficiente. Un exceso de cal reduce el hierro, fósforo, manganeso, calcio, boro y zinc asimilables. Un exceso de cal, suprime el potasio asimilable. Por el exceso de cal, el asocio del cultivo de maíz y la soya no se pueden desarrollar y se vuelven amarillos (Thompson 1974).

Las ventajas de las pruebas químicas y biológicas, tienen un valor como base para recomendar la adición de cal y fertilizantes, estos resultados deben estar correlacionados con las respuestas de las cosechas en los campos (Tisdale y Nelson 1985).

Diversas técnicas se emplean para determinar el grado de fertilidad de un suelo; éstas son:

1. Síntomas de deficiencia de Nutrientes en las plantas.
2. Análisis foliar o de los tejidos de las plantas que crecen en el suelo.
3. Test biológicos.
4. Test químicos del suelo.

El análisis de suelo, o "las pruebas de los suelos" es la columna vertebral del programa de evaluación de la fertilidad (Hunter y Fitts 1971), que complementa la descripción de la morfología del suelo en el campo, dando mayor precisión a las propiedades físicas, tales como textura y la fracción de arcilla que no puede ser estimada en el examen de campo.

El análisis de suelos, como método de diagnóstico de deficiencias de Nutrientes en el suelo, está en función a la eficacia de extracción del reactivo químico empleado sobre los Nutrientes disponibles para las plantas. Si hay correlación entre la cantidad de Nutrientes determinada por el método químico y la cantidad requerida por la planta, se puede estimar la necesidad de aplicar o no los fertilizantes (Jackson 1976).

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, puede ser utilizado como

un suplemento de las técnicas para el diagnóstico, síntomas que se basan en las observaciones o en las medidas del crecimiento de las plantas (Tisdale y Nelson 1985). 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.

Las pruebas biológicas, también nos ayudan a medir el estado de la fertilidad de los suelos. Las pruebas de campo a nivel de parcela, es uno de los test biológicos más antiguos y mejor conocidos (Tisdale y Nelson 1985).

Palomino (1987). Utilizó la técnica del elemento faltante y la técnica de Cate y Nelson, para evaluar la fertilidad de suelos de Ayacucho. La técnica de Cate y Nelson, consiste en determinar el “nivel crítico” del nutriente de interés (Waugh et al. 1973). El nivel crítico de un nutriente disponible en el suelo, permite predecir la respuesta del cultivo frente a la aplicación de fertilizantes.

Cate y Nelson (1965) demostraron en un diagrama de rendimiento relativo vs análisis de suelos para un nutriente en particular, se puede identificar un nivel crítico, el mismo que depende del extractante usado, así como del cultivo involucrado. En la práctica, el diagrama de dispersión de Cate-Nelson provee una técnica simple, pero, altamente efectiva, para evaluar los métodos analíticos de los suelos. El resultado final, es que se identifican dos categorías distintas de suelo-cultivo en cada representación gráfica de rendimiento relativo, cada una, difiriendo en la clase de respuesta que se obtiene. Debajo del nivel crítico, se puede esperar una respuesta alta en el rendimiento del cultivo con adiciones adecuadas del nutriente bajo estudio; arriba del nivel crítico se espera una respuesta baja, o ninguna respuesta (Waugh et al 1973).

Según Tineo (2014) **la técnica del elemento faltante**, consiste en comparar rendimientos de un cultivo, cuando se hace faltar un elemento en el suelo mediante la fertilización, con los rendimientos del mismo cultivo, cuando se recibe dicho elemento mediante la fertilización. De esta manera, se puede observar si la no adición del elemento en la fertilización del terreno perjudica el desarrollo de la planta; de no ser así, el suelo posee dicho elemento en cantidad suficiente para el suministro adecuado del vegetal. Cuando

se emplea el Diseño 03 de Julio, los tratamientos factorial, 2^K , para $K=2$ ($T_1:-2,-2$; $T_2:-2,2$; $T_3:2,-2$; $T_4:2,2$) son equivalentes a los tratamientos propuestos para el diagnóstico de la fertilidad del suelo por la técnica del elemento faltante:

Trat	X ₁	X ₂	Descripción
1	-2	-2	T: Testigo, sin abonar
2	-2	2	-N: abonado sólo con P, no recibe N
3	2	-2	-P: abonado sólo con N, no recibe P
4	2	2	C: Completo, abonado con N y P

N (sin N), -P (sin P), se comparan con el C (completo), el T (testigo) va como referencia.

La **técnica del elemento presente**, consiste en comparar los rendimientos de un cultivo, cuando se hace disponible un elemento en el suelo, mediante la fertilización, con los rendimientos del mismo cultivo, cuando solo se ha empleado la fertilidad natural de ese suelo. De esta manera, se puede observar, si la adición del elemento mediante la fertilización repercute en el desarrollo de la planta; de no ser así, el suelo posee dicho elemento en cantidad suficiente para el suministro adecuado del vegetal (Tineo, 2014).

Haciendo uso del mismo diseño, el tratamientos factorial, 2^k , para $K=2$ ($T_1:-2,-2$; $T_2:-2,2$; $T_3:2,-2$; $T_4:2,2$) se pueden utilizar, para el diagnóstico de la fertilidad del suelo por la técnica del elemento presente:

Trat.	X ₁	X ₂	Descripción
1	-2	-2	T: Testigo , sin abonar
2	-2	2	+P: abonado sólo con P, no recibe N
3	2	-2	+N: abonado sólo con N, no recibe P
4	2	2	C: Completo, abonado con N y P

+N (con N), +P (con P), se comparan con el T (Testigo), el C (completo) va como referencia.

Cuando el estudio comprende tres factores (p.e.: N, P, K), los tratamientos factoriales, 2^K correspondientes al Diseño 03 de Julio (D3J), para $K=3$ serían:

La técnica del elemento faltante, considera los tratamientos T₇ (-N), T₆ (-P), T₄ (-K) y T₈ (C); así mismo, para la técnica del elemento presente, se utilizarían los tratamientos T₂ (+N), T₃ (+P), T₅ (+K) y T₁ (T).

Trat.	X ₁	X ₂	X ₃	Descripción
1	-2	-2	-2	T: Testigo , sin abonar
2	2	-2	-2	+N: abonado sólo con N
3	-2	2	-2	+P: abonado sólo con P
4	2	2	-2	-K: abonado sólo con N, P; no recibe K
5	-2	-2	2	+K: Abonado solo con K
6	2	-2	2	-P: abonado sólo con N, K; no recibe P
7	-2	2	2	-N: abonado sólo con P, K; no recibe N
8	2	2	2	C: Completo, abonado con N, P, K

Otros sistemas de evaluación de la fertilidad del suelo, se basan en el análisis de plantas que tiene una ventaja fundamental: integra los efectos del suelo, la planta, el clima y el manejo. En esta forma constituye la mejor medida de la disponibilidad de los Nutrientes. Sin embargo, el análisis foliar, tiene una desventaja fundamental: en el momento en que el análisis señala un problema nutritivo, es ya muy tarde para corregirlo sin que se produzca una considerable pérdida de rendimiento.

Los análisis foliares, se hacen con tres propósitos principales.

1. Para identificar problemas nutritivos y cuantificar su corrección por medio del establecimiento de niveles críticos.
2. Para completar niveles de absorción de nutrimentos, como clave para uso de fertilizantes.
3. Para revisar la nutrición de cultivos perennes.

Cuando se toman muestras de plantas de la misma parte anatómica y en la misma etapa de crecimiento, pueden establecerse ciertos niveles críticos, más arriba de las cuales, la planta cuenta con un buen suministro del nutrimento y más abajo el suministro es insuficiente. Se necesita una segunda serie de niveles críticos para nutrimentos presentes en cantidades tóxicas, tales como Boro, Hierro, y Manganeso.

Cualquiera que sea la forma en que se determinan las recomendaciones sobre fertilizantes, éstas carecen de valor si el agricultor no los pone en práctica. Su aplicación eficaz depende de los aspectos educativos y de promoción dirigidos en atraer la atención del agricultor. Generalmente este esfuerzo incluye días de campo, parcelas demostrativas, programas radiales y ayudas audiovisuales. Una vez familiarizado con el programa, aceptarán o rechazarán las recomendaciones (Hunter y Fitts 1971).

1.4 FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS DEL SUELO.

Los suelos constituyen el medio natural en que las plantas crecen y se desarrollan. Su verdadero nivel de vida está determinado, comúnmente por la calidad de los suelos, por la clase y calidad de las plantas y animales que crecen sobre ellos (Buckman y Brady 1985).

Los suelos minerales constan de cuatro grandes componentes: materias minerales (45%), materia orgánica (5%), agua (25%) y aire (25%), a ello incorpora Martín, como componente a los organismos vivos (Buckman y Brady 1985).

La cantidad de estos constituyentes, no es la misma en todos los suelos, sino que varía con la localidad desde menos de una hectárea hasta más de 100 hectáreas. La cantidad de materia orgánica y mineral, que forma parte de la porción inanimada, es relativamente fija en un determinado lugar, sin embargo; la proporción de aire y agua, varía (Millar et al.1971).

El contenido de materia orgánica en los suelos, es muy variable alcanzando desde trazas en los suelos desérticos hasta un 90-95% en los turbosos. Los horizontes A, de los suelos explotados agrícolamente presentan por lo general valores entre 0.1 y 10% de materia orgánica, cuyo contenido decrece con la profundidad, en el perfil del suelo (Fassbender 1975).

La materia orgánica, tiende a disminuir con la profundidad de cada altitud. De modo, que para los suelos de superficie tiene una variación de 12.22% - 4.02% y la profundidad de

una variación de 7.17% - 3.0%, notándose en forma general que los valores varían de bajo a alto (Chonta 1979).

La materia orgánica del suelo, consiste en residuos vegetales y animales a varios niveles de descomposición. Niveles adecuados de la misma, benefician al suelo en formas diferentes: mejora la condición física, aumenta la infiltración del agua, mejora la friabilidad del suelo, disminuye las pérdidas por erosión y provee nutrientes a las plantas. La mayor de los beneficios, se debe a sustancias desprendidas como producto de la descomposición en el suelo de los residuos orgánicos.

La M.O. contiene cerca del 5% de nitrógeno total, pero el nitrógeno en la materia orgánica se encuentra en compuestos orgánicos y por lo tanto no está disponible debido a que su descomposición por lo general es bastante lenta.

La M.O. del suelo, también contiene otros elementos como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes. A medida que la materia orgánica se descompone, estos elementos se vuelven disponibles, incluido el N para las plantas en crecimiento; aunque se debe tener en cuenta que el nitrógeno y el azufre pueden ser inmovilizados temporariamente durante este proceso (Potash & Phosphate Institute 1997).

El agua, es a la vez un alimento y un vehículo de transporte para los elementos fertilizantes que no son absorbidos por las raíces más que a condición de ser previamente disueltos.

El nutrimento del suelo que requiere un vegetal en mayor cantidad es el nitrógeno, a pesar de su función crítica en la nutrición vegetal, el nitrógeno es asimilado en el estado inorgánico en forma de nitratos o amonio, la mayor parte de los materiales nitrogenados encontrados en el suelo o que se agregan en forma de residuos vegetales es orgánica y por lo tanto no aprovechable (Martin 1980).

En la mayoría de los suelos cultivados, la capa arable contiene entre 0.02 y 0.04% de su peso en nitrógeno. La cantidad presente en cada caso está determinada por la influencia

general del clima y tipo de vegetación, los cuales son modificados por las características de la topografía, material madre y la actividad del hombre (Black 1975).

La conversión de nitrógeno orgánico al estado inorgánico, más móvil, se conoce como mineralización del nitrógeno, un proceso análogo a la liberación de CO₂ a partir de los materiales carbonados (Martin 1980).

El clima, por la influencia de la temperatura y suministro de agua, ejerce sobre las actividades de las plantas y los microorganismos las cuales determinan el contenido de nitrógeno de un suelo (Black 1975).

Fassbender (1975) indica que los contenidos de la materia orgánica y nitrógeno de los suelos los determina, en primera instancia el clima y la vegetación, y que los afectan otros factores locales como el relieve, material parenteral, el tipo y la duración de la explotación de los suelos y alguno de sus características físicas, químicas y microbiológicas.

La reacción del suelo, influye igualmente en el contenido de materia orgánica. Por lo general se ha encontrado que, en los suelos ácidos, a pH menores que 5, se produce una acumulación de la materia orgánica, por que influye en el contenido y composición de la flora microbiana, limitando la acción bacteriana y resultando en una menor eficiencia en la mineralización y humificación (Primo y Carrasco, 1973). La materia orgánica, es importante por su influencia en muchas de sus características del suelo: aumenta la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad del N, P y S, la regulación del pH a través del aumento de su capacidad Tampón; la producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento, importantes para la vida microbiana del suelo, entre otras (Palomino 1987).

El fósforo, es el segundo elemento más crítico en la nutrición vegetal. El núcleo de cada célula de la planta contiene fósforo, por la que la división y el crecimiento celular son dependientes de adecuadas cantidades de él. El fósforo, es concentrado en las células que se dividen rápidamente los que activan el crecimiento de las partes de raíces y tallos.

El fósforo, es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y lixiviados. Esta alta estabilidad, resulta de una baja solubilidad que a veces causa deficiencias de disponibilidad de P. para las plantas a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo. Esto puede evitarse en parte a través de una fertilización fosfatada, pero los fosfatos aplicados al suelo son objetos de reacciones rápidas de "fijación" (Fassbender 1975).

El contenido total de fósforo es relativamente bajo. En los suelos minerales de áreas templadas, el contenido de fósforo total varía entre 0.02% y 0.08% (200 a 800 ppm) y en promedio gira alrededor de 0.05% (500ppm) (Fassbender 1975).

El contenido de fósforo depende de la textura del suelo, en área de clima templada y tropical, en suelos con textura más fina, mayor es el contenido de fósforo total (Fassbender 1975).

El fósforo, en los suelos se encuentra casi exclusivamente en forma de ortofosfatos. Del total contenido en la tierra o en el suelo el 0.02% a 0.155 de P. La cantidad total de fósforo, está asociada con la materia orgánica del suelo, en los suelos minerales la proporción del fósforo orgánico esta entre 20 - 80% del total de fósforo (Mengel y Kirkby 1979).

El fósforo en el suelo, se presenta como ortofosfatos y todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4). Los fosfatos se dividen (Fassbender 1975), y se presenta con mayor frecuencia en forma de anión (H_2PO_4 y HPO_4^-), que como catión y se fija en el suelo de distinta manera que el potasio (Palmer y Troeh 1979).

La principal fuente de fósforo en el suelo lo constituye la apatita ($\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$), (Donahue et al 1981), que contiene 95% o más de fósforo. Las plantas absorben el fósforo de la solución del suelo como ortofosfato primario, secundario y terciario (Palomino 1987).

De manera general, la condición ácida del suelo reduce la disponibilidad del Ca, Mg, Mo y P; mientras esta misma condición incrementa la disponibilidad de Fe, Mn, B, Cu y Zn (Potash & Phosphate Institute 1997).

Según Black el pH del suelo influye en la disponibilidad del fósforo. Al incrementarse el pH de los suelos, los fosfatos de aluminio y hierro liberan fosfatos en forma soluble; contrariamente al decrecer el pH, la tendencia de los hidróxidos de Fe y de Al, es reaccionar con los fosfatos de Fe y de Al; asimismo, los fosfatos de Ca se disuelven al decrecer el pH.

Lindsay et al mencionado por (Arias, 1978) demostró que la disponibilidad de los fosfatos de Fe y Al aumentan con el pH, mientras que los fosfatos de Ca disminuyen; la solubilidad máxima de los fosfatos en el suelo, alcanzan en valores de pH 5.5 y 7.0.

De acuerdo a la estructura química, existen cinco tipos principales de compuestos fosfatados en la materia orgánica: Fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfatos metabólicos, Fosfoproteínas, Fosfato del ácido inositolhexafosfórico o inositol. El grupo de los inositol constituyen hasta el 50% del fósforo orgánico y en algunos casos hasta el 75% (Fassbender 1975).

El fósforo, como ortofosfato desempeña un papel importante en las reacciones enzimáticas que dependen de la fosforilación. Por esta razón es un constituyente del núcleo celular, siendo esencial para la división de las células y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos (Russell y Russell 1968).

De esta manera, el fósforo ocupa una porción crítica, tanto en el crecimiento vegetal como en la biología del suelo.

Los cultivos agrícolas generalmente contienen de 0.05 a 0.50% de fósforo en sus tejidos. En las plantas, este elemento se encuentra en varios compuestos o grupos de sustancias: Fitina, fosfolípidos, ácido nucleico, azúcares fosfatados, coenzimas y compuestos relacionados. El fósforo puede presentarse también en vacuolas y sustancias amortiguadoras internas como ortofosfato inorgánico (Martini 1969).

El fósforo, es un componente esencial de los vegetales, cuya riqueza media en P_2O_5 es del orden de 0.5 al 1% de la materia seca se encuentra, en parte, en estado mineral, principalmente formado por complejos orgánicos fosforados con lípidos, prótidos y glúcidos, como la lecitina, los núcleos proteínas componentes del núcleo celular. (Gros 1981).

El fósforo, interviene activamente en la mayor parte de las reacciones bioquímicas complejas, de la planta, que son la base de la vida: Respiración, síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, actividad de las diastasas, etc (Gros 1981).

El ácido fosfórico, es un factor de precocidad, que tiende a acortar el ciclo vegetativo, favoreciendo la maduración. Así mismo aumenta la resistencia de la planta al frío y a las enfermedades, al igual que la potasa. Las carencias de P_2O_5 se ponen de manifiesto por un follaje de color verde oscuro, casi azulado, y por el amarillamiento y secado de la punta de las hojas. Estas presentan una ondulación característica, mostrando, a veces, manchas púrpuras (Gros 1981).

Varios autores han reportado que en los suelos de América Central y del Sur, el fósforo, es el elemento más limitante, tal es el caso mencionado por Martini, en suelos de Costa Rica, Adilson et al en suelos de Belén (Brasil).

El contenido de potasio, en la tierra es de 2.3% aproximado, la gran parte del potasio se encuentra en los minerales primarios, presentes en los minerales secundarios cubiertos por arcilla (Mengel y Kirkby 1979).

El potasio más corriente son los silicatos minerales, feldespatos y micas, que se hallan distribuidos ampliamente en las rocas. Muchas de las rocas que forman el suelo contienen uno o más minerales potásicos, tales como la ortoclasa, microclina, biotita y muscovita (Bear 1958).

El potasio en el suelo, es un constituyente poco soluble, tales como feldespato, ortoclasa ($KAlSi_3O_8$) resultando potasio soluble disponible en forma muy esparcida para las

plantas. Los suelos pueden contener 2% del potasio total, del cual una pequeña fracción es disponible. Cuando hay mucho potasio soluble y no es usado por las plantas, es adsorbido en los lugares de intercambio catiónico (Donahue et al 1981).

El potasio, compensa el déficit de la iluminación, una dosis doble de K reemplaza al sol porque aumenta el contenido en clorofila y estimula la intensidad de la asimilación a plena luz, el K_2SO_4 es superior al KCl; a la sombra, resulta a la inversa.

El potasio, se pierde del suelo por medio de la extracción de la cosecha de los cultivos; este elemento adsorbido y fijado en el suelo, puede perderse por erosión. En suelos con bajo potencial de adsorción y fijación, y en áreas de alta precipitación, el potasio se puede perder hacia la tabla de aguas por lixiviación (Murrel 2003).

Junto con la cal el potasio, constituye la mayor parte de las materias minerales de la planta y aproximadamente el 3% de la materia seca de los vegetales (Gros 1981).

Las características del suelo, que influyen grandemente en la adsorción de sulfatos, entre las más importantes se encuentran: el pH, el contenido de arcillas, materia orgánica, la presencia de hidróxidos de hierro y aluminio (Chonta 1979).

El azufre, es un nutriente esencial para los integrantes del reino animal y vegetal. A pesar de su abundancia en la corteza terrestre, el azufre, se encuentra en el suelo en cantidades sub óptimas o en formas no aprovechables (Martini 1969).

El contenido de azufre de los suelos varía para suelos inorgánicos presentan a veces contenidos hasta de 1% de azufre (Arias 1978).

La oxidación de azufre elemental, provoca la solubilización de los minerales del suelo. Así, la oxidación aumenta la cantidad de fosfato, potasio, calcio, magnesio, aluminio y magnesio solubles. La deficiencia de manganeso se genera con la aplicación de azufre o tiosulfato (Martini 1969).

El suelo tiene un promedio de 500 a 800 Kg/ha de azufre. Este se encuentra en el estado mineral (sulfatos) y, sobre todo, orgánico (75 a 90%). El contenido de azufre total en el suelo es muy variable de 0.1 a 0.8 por 1.000 (bajo en suelos arenosos, elevado en suelos ricos en materia orgánica (Gros 1981).

La riqueza total del suelo en azufre, indica la capacidad para asegurar la alimentación de los cultivos en azufre; como en el caso del nitrógeno, depende, sobre todo, de la riqueza en humus y de la actividad biológica del suelo (Gros 1981).

El azufre, en sus variadas formas orgánicas e inorgánicas es metabolizado fácilmente en el suelo y se incorpora al suelo en forma de residuos vegetales, desechos animales, fertilizantes químicos y agua de lluvia (Martini 1969).

La cantidad de azufre que se deriva de la atmósfera, va de 1Kg en regiones de África, Australia, Nueva Zelanda; a más de 100kg/Ha/año, en sectores industrializados de Europa y los Estados Unidos. Una característica común a la tierra virgen y la cultivada es la proporción entre el azufre orgánico, el carbono y el nitrógeno. C:S de la fracción orgánica es aproximadamente 100:1, mientras que la proporción total N:S orgánico es 10:1 en distintos suelos y en diferentes horizontes de un mismo lugar (Martini 1969).

El azufre, es absorbido por el sistema radicular como ión sulfato, aunque pueden asimilarse como aminoácidos sin desintegración previa. Los habitantes del suelo que son capaces de oxidar compuestos inorgánicos de azufre pueden ser tanto autótrofos como heterótrofos (Martin 1980).

Las pérdidas del azufre, dependen de la naturaleza del suelo, del clima y del cultivo. Se estima la pérdida de 50-70 Kg/ha/año (Gros 1981).

Las pérdidas por extracción por los cultivos, se calculan en 20-25 Kg/ha/año, si se entierran las pajas, y en 30-40 Kg, si son exportados (Gros 1981).

Las pérdidas por lavado pueden ser importantes en los suelos ligeros, en climas húmedos y suelos desnudos. Se estima en 15-60 Kg/ha, dado que los sulfatos son muy móviles en

el suelo. La mineralización de las reservas orgánicas es de 10 a 30 Kg de azufre/año (Gros 1981).

El agua de lluvia, precipita el gas sulfuroso que contiene el aire y restituye al suelo de 8-20 Kg/ha de azufre, según la dirección de los vientos dominantes y la proximidad de los centros industriales. El agua de riego puede aportar hasta 50 Kg de azufre/año (3000 m³ de agua con 50 ppm de iones SO₄). Mientras el estiércol contiene como media 0.5 Kg de azufre.tn⁻¹, es decir 10 Kg de este elemento por 20 toneladas de estiércol (Gros 1981).

Generalmente no es conveniente enriquecer el suelo con azufre, de modo permanente por medio de aplicaciones importantes de azufre mineral, que provocarían una mineralización anormalmente alta de materia orgánica, es decir, una gran liberación de azufre del suelo y una eliminación del azufre excedente por lavado. Es posible programar un enriquecimiento permanente por medio del estiércol y las reservas orgánicas del suelo (Gros 1981).

Ascue, citado por Palomino (1987) al estudiar la respuesta al abonamiento azufrado en los suelos agrícolas de Ayacucho, encontró respuesta positiva del tomate a la aplicación de S, a una dosis de 60 Kg/ha bajo condiciones de invernadero en 11 de los 31 suelos estudiados.

En los suelos de la puna procedentes de Allpachaka, que en relación fijación-absorción de S son responsables algunas propiedades físico-químicos como el pH, % de materia orgánica, la capacidad total del cambio, P disponible, y el Fe₂O₃ además de las arcillas (Chonta 1979).

El contenido de magnesio total de los suelos no calcáreos varía entre 0.1 y 1%. Se encuentra en el suelo asociado a determinados minerales primarios o secundarios. De manera especial el olivino, la biotita, los piroxenos y los anfíboles muestran contenidos altos de magnesio. Así mismo en suelos calcáreos se presentan en forma de dolomita, magnesita, aumentando su contenido en MgO total hasta 2 y 3%. En algunos suelos alcalinos de zonas desérticas y semi desérticas se presenta a veces acumulación de MgSO₄ (Fassbender 1975).

La falta de magnesio tiene como consecuencia una reducción de la actividad fotosintética, con amarillamiento de las hojas, segundo por manchas necróticas pardas. El magnesio, participa en la formación y acumulación de reservas de azúcares e hidratos de carbono, proteína, vitamina etc. (Gros 1981).

Las reservas importantes de magnesio en el suelo, se encuentran en formas muy poco solubles, como los silicatos complejos. Los suelos más ricos en magnesio, proceden de rocas eruptivas y de sedimentos calizos.

La materia seca de los vegetales, contiene de 0.1 a 0.5 % de magnesio (MgO). La pérdida por extracción por las cosechas es de 15-30 Kg MgO/ha, el lavado anual es de 15-40 Kg de MgO/ha (Gros 1981).

La existencia de un umbral de toxicidad, a veces, muy próximo al umbral de carencia, lo que debe aconsejar prudencia al agricultor cuando tienen que añadir micro elementos al suelo (Gros 1981).

El pH del suelo, cal y niveles de fósforo, influyen la disponibilidad de micro nutrientes. Todos excepto el molibdeno son más solubles y por ende más disponibles en medios fuertemente ácidos. En suelos neutros y alcalinos, los metales forman óxidos o hidróxidos insolubles. Aplicaciones fuertes de fosfatos pueden causar deficiencias en algunos suelos particularmente de Zn y Fe (Donahue et al.1981).

CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN

El presente trabajo se desarrolló en condiciones de invernadero, en los ambientes del Área de Suelos, del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicado en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.

Tabla 2.1. Características químicas del suelo. Cayara, Víctor Fajardo Ayacucho.

Característica	Método	Contenido
Materia orgánica (%)	Walkley y Black.	2.04 b
N total (%)	Semi-micro Kjeldhal.	0.10 b
P disponible (ppm)	Olsen modificado.	19.93 a
K disponible (ppm)	Morgan y Peech.	315.00 ma
pH-H ₂ O	Potenciométrico.	7.97
CO ₃ ⁼ (%)	Gasovolumétrico	7.65

a: alto; **ma:** muy alto; **m:** medio; **b:** bajo;

La muestra de suelo corresponde a un terreno de uso agrícola representativo del distrito de Cayara, provincia de Víctor Fajardo, departamento de Ayacucho. Se recogió una muestra de suelo superficial (0 a 20cm), en la que se determinó sus características químicas.

El análisis realizado en el Laboratorio AGROLAB (tabla 2.1), indica que se trata de un suelo con contenido por debajo del promedio en materia orgánica, bajo en N total, alto en P disponible y muy alto en K disponible (Ibáñez y Aguirre, 1983).

2.3. NATURALEZA DEL ESTUDIO

El estudio corresponde a la evaluación de la fertilidad química, en cuanto a NPK, de un suelo agrícola, utilizando las técnicas del elemento faltante y presente; así como para determinar la relación entre las características químicas del suelo y los rendimientos relativos obtenidos con las técnicas del elemento faltante y presente, y la densidad de plantas indicadoras como tomate y cebada a utilizar en trabajos de esta naturaleza.

2.4. FACTORES, TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Factores en estudio

Como se evalúa el estado nutricional en cuanto a NPK de los suelos mencionados, los factores considerados fueron: N, P y K; los mismos que se aplicaron vía abonamiento.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos se diseñaron utilizando la parte factorial del Diseño 03 de Julio (D3J), para tres factores; la estructura de los tratamientos, de acuerdo al D3J y los niveles empleados en cada factor se indican en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Tratamientos en el D3J; parte factorial (2^k ; $K = 3$).

Trat.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Denominación
T1 (T)	0	0	0	Testigo
T2 (+N)	260	0	0	con N
T3 (+P)	0	200	0	con P
T4 (-K)	260	200	0	sin K
T5 (+K)	0	0	180	con K
T6 (-P)	260	0	180	sin P
T7 (-N)	0	200	180	sin N
T8 (C)	260	200	180	Completo

Los tratamientos así diseñados, se han distribuido de acuerdo al Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres repeticiones; así, el experimento contó con 144 unidades experimentales (24 para cada densidad: d1, d2, y d3, en dos plantas indicadoras: tomate y cebada).

2.5. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

Preparación del almácigo de tomate.- Esta labor consistió en la siembra de semillas de tomate en surco corrido, en una caja almaciguera de 40cm*50cm, en cantidad suficiente como para cubrir la totalidad de las unidades experimentales. Esta etapa tuvo una duración de 5 semanas, cuando las plantas se consideraban listas para ser trasplantadas a las unidades experimentales.

Unidades experimentales (UE).- Las UE consistieron en pequeñas macetas (vasos de plástico) de 150 g. de capacidad, a los que se les abrió un agujero en la base para conectar con una mecha de pabilo hacia una bandeja con agua des ionizada para el suministro permanente de agua por capilaridad (fotografías 1, 2, 3 y 4). En cada maceta se depositó la muestra de suelo seco al aire, tamizado con una malla de 4 mm de diámetro.



Figura 2.1. Bandeja para suministro de agua a macetas



Figura 2.2. Soporte para las macetas (vasos de plástico)



Figura 2.3. Maceta con pabalo para riego por capilaridad



Figura 2.4. Suministro de nutrientes en las macetas



Figura 2.5. Macetas con plantas de tomate



Figura 2.6. Macetas con plantas de cebada

Abonamiento y trasplante.- Previo al trasplante se realizó el abonamiento, que consistió en aplicar los abonos preparados en solución (fuentes solubles: nitrato de amonio, fosfato mono sódico y cloruro de potasio), según la estructura de tratamientos establecidos en la tabla 2.2. En 72 macetas se procedió a realizar el trasplante de las plantas de tomate, dejando 1, 2 y 3 plantas por unidad experimental (según la densidad), así mismo, en las otras 72, se sembró directamente semillas de cebada, las mismas que luego de su germinación correspondiente se desahijaron para dejar 3, 6 o 9 plantas por unidad experimental (según la densidad).

Conducción del cultivo.- Consistió en labores de deshierbo, y riego de acuerdo a los requerimientos del cultivo, durante 1,5 meses; luego del cual se procedió con la extracción de las plantas de tomate y de cebada, para su evaluación correspondiente.

Cosecha y determinación del rendimiento de materia seca.- Consistió en determinar el rendimiento de materia seca de la planta en cada una de la unidades experimentales, para el cual se extrajeron las plantas completas (incluyendo las raíces), luego de lavarlas se depositaron en bolsas de papel previamente identificadas y se colocaron en una estufa, para proceder a su secado a 70°C, durante 48 horas (hasta peso constante).

2.6. VARIABLES EVALUADAS.

Rendimiento de materia seca de la parte aérea.- Una vez que se realizó la extracción (cosecha) de las plantas en cada maceta, se llevó a la estufa durante 48 horas a una temperatura constante de 70 °C. Luego se pesó la cantidad de materia seca, utilizando una balanza analítica.

Rendimiento relativo de acuerdo a la técnica del elemento faltante y del elemento presente. Con los pesos registrados, se calcularon los rendimientos relativos para cada tratamiento, según correspondan al grupo del elemento faltante o presente.

2.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con los resultados de producción de materia seca en la planta de tomate, se realizó lo siguiente:

1. Análisis de varianza y prueba de comparación de promedios de Duncan.
2. Análisis de regresión para determinar el modelo matemático de primer orden:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

De acuerdo a la metodología descrita por Tineo (2014), la pendiente (coeficientes de los términos lineales: b_1 ; b_2 ; b_3) indica el grado de aporte de cada nutriente en el abonamiento.

3. Se determinaron los rendimientos relativos (Rr) con las técnicas del elemento faltante y presente.

Los Rr para la técnica del elemento faltante (EF) considera a los tratamientos T_7 (-N), T_6 (-P), T_4 (-K) y T_8 (C). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Rr (\%) = \frac{Rdto(T_i)}{Rdto(T_8)} * 100$$

Donde:

Rr : rendimiento relativo (%)

T_i : tratamiento del elemento faltante T_7 (-N), T_6 (-P), T_4 (-K)

T_8 : tratamiento completo

Los Rr para la técnica del elemento presente (EP), considera a los tratamientos T₂ (+N), T₃ (+P), T₅ (+K) y T₁ (testigo). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Rr (\%) = \frac{Rdto(Ti)}{Rdto(T1)} * 100$$

Donde:

Rr : rendimiento relativo (%)

Ti : tratamiento del elemento presente T₂ (+N), T₃ (+P), T₅ (+K)

T₁ : testigo

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3. DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA (MS) DE TOMATE.

3.1.1. Rendimiento de MS de tomate (1 planta/maceta). La tabla 3.1 de análisis de variancia (ANVA) muestra diferencia estadística significativa entre tratamientos; indicando que el aporte diferenciado de nutrientes (NPK) influyó en la mayor o menor producción de materia seca en la planta del tomate.

Tabla 3.1. ANVA del rendimiento de materia seca de tomate (1 planta/maceta).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Pr > F
Tratamiento	7	0.12271667	0.01753095	3.03	0.0313 *
Error	16	0.09246667	0.00577917		
Total	23	0.21518333			

C.V. = 27.23%

La prueba de Duncan (Tabla 3.2) indica, en base a la técnica del Elemento Faltante, el orden de importancia de la deficiencia de nutrientes: [N] (-N: 0.157 g/maceta) > [P] (-P: 0.253 g/maceta) > [K] (-K: 0.383 g/maceta), entendiéndose que una mayor deficiencia de nutriente se traduce en rendimientos menores; al respecto Liebig opinaba que el crecimiento de las plantas era proporcional a la cantidad de sustancia mineral disponible en el suelo y en base a ese concepto estableció su famosa “ley del mínimo” (Cepeda, 2009). De la misma forma en base a la técnica del Elemento Presente, el orden decreciente de deficiencia de nutrientes es: [N] (+N: 0.307 g/maceta) > [P, K] (+P y +K: 0.273 y 0.253 g/maceta) respectivamente.

Los Rr (%), indican, para el caso de la técnica del EF que la omisión de N en el abonamiento afectó severamente el rendimiento (41%), haciendo entender que la

disponibilidad de este nutriente en el suelo es escasa; al observar los Rr (%) correspondientes a la técnica del EP, igualmente se observa que la adición de este nutriente resulta en la mayor respuesta (135%) del cultivo.

Tabla 3.2. Prueba de Duncan para rendimiento de MS de tomate (1 planta/maceta).

Trat.	(g/maceta)	Rr (%)	(ALS)0.05		
T4 (-K)	0.38333	100.88	a		
T8 (C)	0.38000	100.00	a		
T2 (+N)	0.30667	135.29	a	b	
T3 (+P)	0.27333	120.58	a	b	c
T5 (+K)	0.25333	111.76	a	b	c
T6 (-P)	0.25333	66.67	a	b	c
T1 (T)	0.22667	100.00		b	c
T7 (-N)	0.15667	41.23			c

Otra manera de visualizar el orden de deficiencia de los nutrientes es en base a los modelos de regresión generados del procesamiento de datos; la figura 3.1 corresponde a la respuesta del tomate (1 planta/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes.

La pendiente (grado de inclinación de la línea) correspondiente al N (0.0258) es superior a la pendiente para el P (0.0096); la pendiente para el K incluso es negativa. Igual tendencia se observa en la figura a.1 del anexo (correspondiente a la influencia de cada uno de los nutrientes en ausencia de los otros dos).

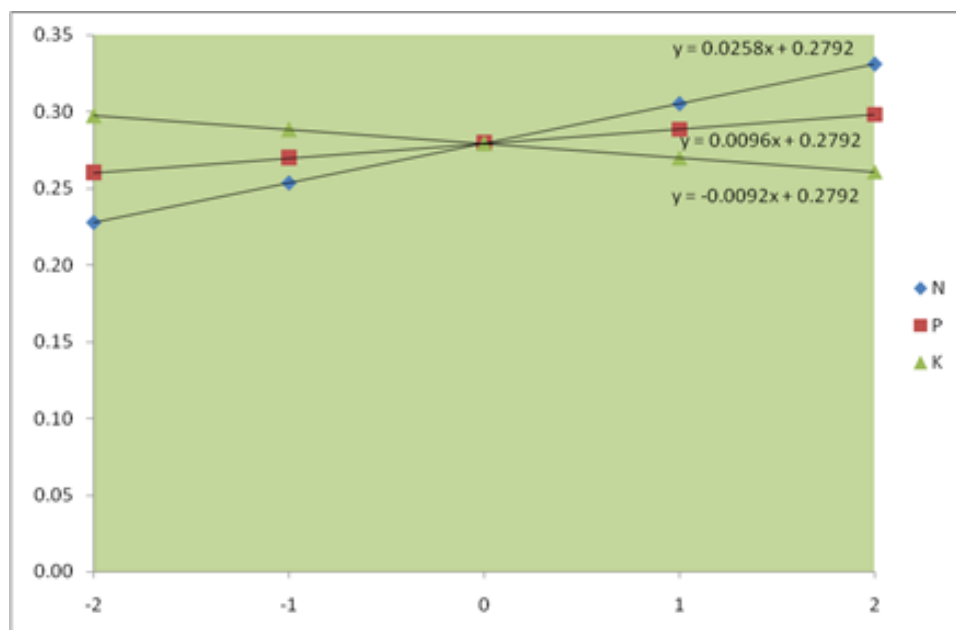


Figura 3.1. Respuesta del tomate (1 planta/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes

3.1.2. Rendimiento de materia seca de tomate (2 plantas/maceta). La tabla 3.3 de ANVA muestra diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos; indicando que el aporte diferenciado de nutrientes (NPK) influyó en la mayor o menor producción de materia seca en las plantas del tomate.

Tabla 3.3. ANVA del rendimiento de materia seca de tomate (2 plantas/maceta).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Pr > F
Tratamiento	7	0.14969583	0.02138512	4.05	0.0097 **
Error	16	0.08440000	0.00527500		
Total	23	0.23409583			

C.V. = 18.97%

La prueba de Duncan (Tabla 3.4) indica, en base a la técnica del EF, el orden de deficiencia ascendente de nutrientes: [N] (-N: 0.260 g/maceta) < [P] (-P: 0.350 g/maceta) < [K] (-K: 0.467 g/maceta); de la misma forma en base a la técnica del EP, el orden de deficiencia descendente de nutrientes es: [P, N] (+P y +N: 0.457 y 0.377 g/maceta, respectivamente) > [K] (+K: 0.323 g/maceta).

Los Rr (%), indican, para el caso de la técnica del EF que la omisión de N en el abonamiento afectó severamente el rendimiento (51.7%), indicando que la disponibilidad de este nutriente en el suelo es escasa; al observar los Rr (%) correspondientes a la técnica del EP, también se observa que la adición de este nutriente resulta en una respuesta significativa (115.3%), a pesar de que la respuesta al fósforo fue mayor (139.8%).

Tabla 3.4. Prueba de Duncan para rendimiento de MS de tomate (2 plantas/maceta).

Trat.	(g/maceta)	Rr (%)	(ALS)0.05		
T8 (C)	0.50333	100.00	a		
T4 (-K)	0.46667	92.72	a	b	
T3 (+P)	0.45667	139.80	a	b	c
T2 (+N)	0.37667	115.31	a	b	c d
T6 (-P)	0.35000	69.54		b	c d
T1 (T)	0.32667	100.00			c d
T5 (+K)	0.32333	98.98			c d
T7 (-N)	0.26000	51.66			d

A partir de estos resultados se puede deducir que el aporte de K no contribuye significativamente en el incremento del rendimiento (según la técnica del elemento presente); asimismo, la omisión de K no perjudica significativamente el desarrollo del cultivo (según la técnica del elemento faltante). En el caso del N, su omisión (con respecto al completo) perjudica notablemente el rendimiento del cultivo, o su inclusión (con respecto al testigo) resulta de mucha importancia en el incremento de los rendimientos.

Como en el caso anterior, la figura 3.2 [respuesta del tomate (2 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes], muestra que la mayor pendiente corresponde a las aplicaciones de N y P; la pendiente correspondiente a la aplicación de K es negativa.

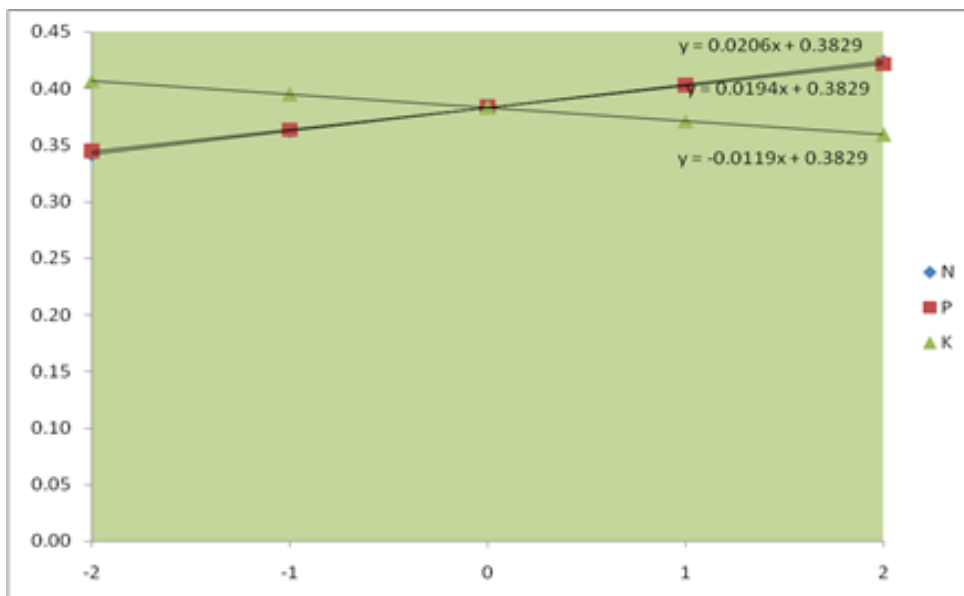


Figura 3.2. Respuesta del tomate (2 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes

3.1.3. Rendimiento de materia seca de tomate (3 plantas/maceta). La tabla 3.5 de ANVA indica diferencia estadística significativa entre tratamientos; indicando, como en los casos anteriores que el aporte diferenciado de nutrientes (NPK) influyó en la mayor o menor producción de materia seca en las plantas del tomate.

Tabla 3.5. ANVA del rendimiento de materia seca de tomate (3 plantas/maceta).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Pr > F
Tratamiento	7	0.26016250	0.03716607	3.46	0.0189 *
Error	16	0.17193333	0.01074583		
Total	23	0.43209583			

C.V. = 21.17%

La prueba de Duncan (Tabla 3.6) indica, en base a la técnica del EF, el orden ascendente de deficiencia de nutrientes: [N] (-N: 0.333 g/maceta) < [P] (-P: 490 g/maceta) < [K] (-K: 0.590 g/maceta); de la misma forma en base a la técnica del EP, el orden descendente de deficiencia de nutrientes es: [P, N] (+P y +N: 0.550 y 0.530 g/maceta, respectivamente) > [K] (+K: 0.383 g/maceta).

Los Rr (%), indican, para el caso de la técnica del EF que las omisiones de N y P en el abonamiento afectaron severamente el rendimiento (51.3% y 75.4%), indicando que la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo es relativamente escaso; al observar los Rr (%) correspondientes a la técnica del EP, igualmente se observa que la adición de estos nutrientes resultan en las mayores respuestas del cultivo (136% y 141% respectivamente).

Tabla 3.6. Prueba de Duncan para rendimiento de M.S. de tomate (3 plantas/maceta).

Trat.	(g/maceta)	Rr (%)	(ALS)0.05		
T8 (C)	0.65000	100.00	a		
T4 (-K)	0.59000	90.77	a		
T3 (+P)	0.55000	141.03	a	b	
T2 (+N)	0.53000	135.90	a	b	c
T6 (-P)	0.49000	75.38	a	b	c
T1 (T)	0.39000	100.00		b	c
T5 (+K)	0.38333	98.29		b	c
T7 (-N)	0.33333	51.28			c

La figura 3.3 corresponde a la respuesta del tomate (3 planta/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes. La mayor pendiente (0.0377) corresponde a la aplicación de N, seguido por la correspondiente a la aplicación de P (0.0206); la pendiente correspondiente a la aplicación de K es negativa (-0.0127).

La figura sugiere que la respuesta significativa obtenida por el aporte de N obedece al bajo contenido de N orgánico en el suelo (a partir del cual por mineralización se libera el N disponible para las plantas). La respuesta debida al aporte de P, en segundo orden con respecto al N, podría deberse a que el contenido de P disponible en el suelo (19.93 ppm) aún no cubre las necesidades del cultivo.

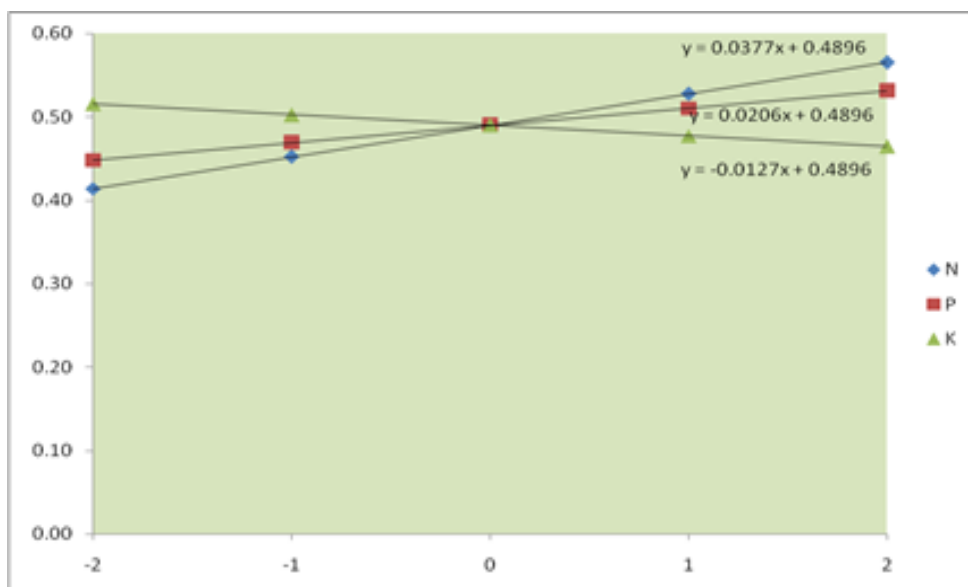


Figura 3.3. Respuesta del tomate (3 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes

3.4. DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE CEBADA.

3.2.1. Rendimiento de materia seca de cebada (3 plantas/maceta). La tabla 3.7 de análisis de variancia muestra diferencia estadística significativa entre tratamientos; lo que indica que el aporte diferenciado de nutrientes (NPK) influyó en la mayor o menor producción de materia seca en las plantas de cebada.

Tabla 3.7. ANVA del rendimiento de materia seca de cebada (3 plantas/maceta).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Pr > F
Tratamiento	7	0.29539583	0.04219940	2.74	0.0448 *
Error	16	0.24600000	0.01537500		
Total	23	0.54139583			

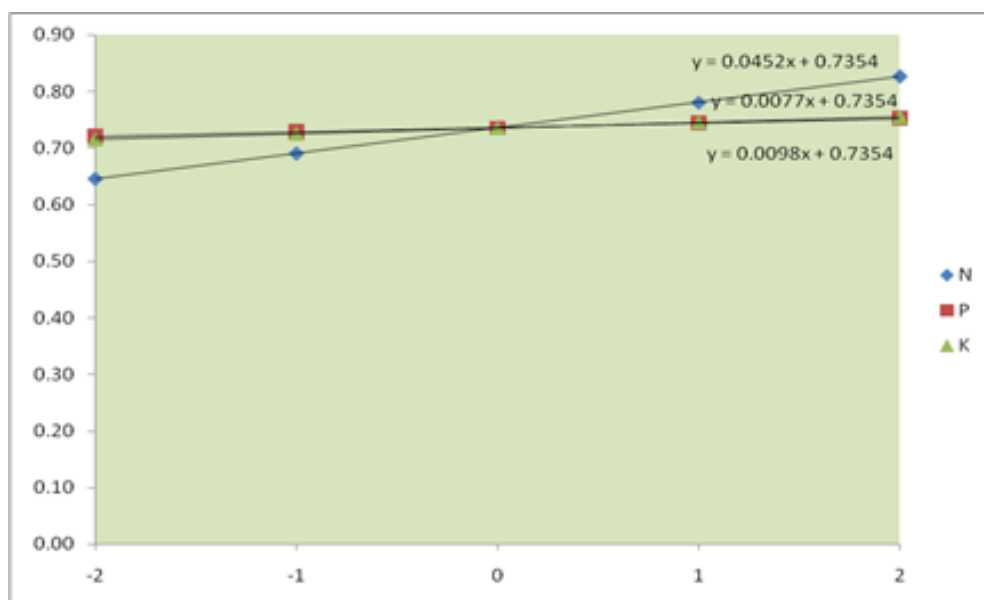
C.V. = 16.86%

La prueba de Duncan (Tabla 3.8) analizada en base a la técnica del EF, indica que el orden ascendente de deficiencia de nutrientes: [N] (-N: 0.643 g/maceta) < [K] (-K: 0.737 g/maceta) < [P] (-P: 0.840 g/maceta); de la misma forma, el análisis en base a la técnica del EP, indica que el orden descendente de deficiencia es: N (+N: 0.847 g/maceta) > [P] (+P: 0.743 g/maceta) > [K] (+K: 0.657 g/maceta).

Tabla 3.8. Prueba de Duncan para rendimiento de MS de cebada (3 plantas/maceta).

Trat.	(g/maceta)	Rr (%)	(ALS)0.05	
T8 (C)	0.8800	100.00	a	
T2 (+N)	0.8467	157.76	a	
T6 (-P)	0.8400	95.45	a	
T3 (+P)	0.7433	138.49	a	b
T4 (-K)	0.7367	83.72	a	b
T5 (+K)	0.6567	122.36	a	b
T7 (-N)	0.6433	73.10	a	b
T1 (T)	0.5367	100.00		b

Los Rr (%), indican, para el caso de la técnica del EF que la omisión de N en el abonamiento afectó significativamente el rendimiento (73%), indicando que la disponibilidad de este nutriente en el suelo es escaso; al observar los Rr (%) correspondientes a la técnica del EP, igualmente se observa que la adición de este nutriente resulta en la mayor respuesta (158%) del cultivo.

**Figura 3.4.** Respuesta de la cebada (3 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes

La figura 3.4 sugiere que el nutriente más deficiente en este suelo es el N, razón por el cual alcanzó la mayor pendiente (0.0452) en los modelos lineales; las pendientes correspondientes al P y K, son proporcionalmente 5 a 6 veces menores.

3.2.2. Rendimiento de materia seca de cebada (6 plantas/maceta). La tabla 3.9 de análisis de variancia muestra diferencia estadística significativa entre tratamientos; lo que indica que el aporte diferenciado de nutrientes (NPK) influyó en la mayor o menor producción de materia seca en las plantas de cebada.

Tabla 3.9. ANVA del rendimiento de materia seca de cebada (6 plantas/maceta).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Pr > F
Tratamiento	7	0.58239583	0.08319940	3.28	0.0232 *
Error	16	0.40540000	0.02533750		
Total	23	0.98779583			

C.V. = 16.55%

Tabla 3.10. Prueba de Duncan para rendimiento de MS de cebada (6 plantas/maceta).

Trat.	(g/maceta)	Rr (%)	(ALS)0.05		
T8 (C)	1.2033	100.00	a		
T2 (+N)	1.1800	145.09	a		
T6 (-P)	1.0733	89.20	a		
T4 (-K)	0.9300	77.29	a	b	
T7 (-N)	0.8567	71.20		b	
T3 (+P)	0.8467	104.11		b	
T1 (T)	0.8133	100.00		b	
T5 (+K)	0.7933	97.54		b	

La prueba de Duncan (Tabla 3.10) indica, en base a la técnica del EF, el orden ascendente de deficiencia de nutrientes: [N] (-N: 0.857 g/maceta) < [K] (-K: 0.930 g/maceta) < [P] (-P: 1.073 g/maceta); de la misma forma en base a la técnica del EP, el orden descendente de deficiencia de nutrientes es: N (+N: 1.180 g/maceta) > [P, K] (+P y +K: 0.847 y 0.793 g/maceta, respectivamente).

Los Rr (%), indican, para el caso de la técnica del EF que la omisión de N en el abonamiento es el que más afectó el rendimiento (71%), indicando que la disponibilidad de N en el suelo es escaso; al observar los Rr (%) correspondientes a la técnica del EP, también se observa que la adición de N resulta en la mayor respuesta del cultivo (145%).

La figura 3.5 sugiere que el nutriente más deficiente en este suelo es el N, porque alcanzó la mayor pendiente (0.0673) en los modelos lineales.

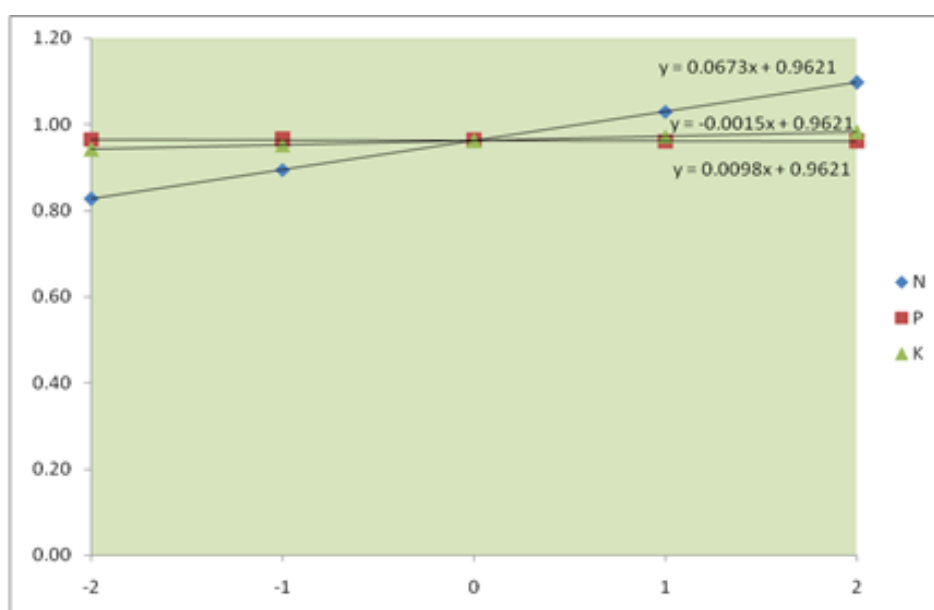


Figura 3.5. Respuesta de la cebada (6 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes

3.2.3. Rendimiento de materia seca de cebada (9 plantas/maceta). La tabla 3.11 de análisis de variancia muestra diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que el aporte diferenciado de nutrientes (NPK) influyó en la mayor o menor producción de materia seca en las plantas de cebada.

Tabla 3.11. ANVA del rendimiento de materia seca de cebada (9 plantas/maceta).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	Pr > F
Tratamiento	7	1.20202917	0.17171845	8.34	0.0002 **
Error	16	0.32946667	0.02059167		
Total	23	1.53149583			

C.V. = 11.42%

La prueba de Duncan (Tabla 3.12) indica, en base a la técnica del EF, el orden ascendente de deficiencia de nutrientes: [N] (-N: 1.173 g/maceta) < [P, K] (-P y -K: 1.460 y 1.490 g/maceta respectivamente); de la misma forma en base a la técnica del EP, el orden descendente de deficiencia de nutrientes es: N (+N: 1.390 g/maceta) > [P, K] (+P y +K: 1.013 y 0.987 g/maceta).

Los Rr (%), indican, para el caso de la técnica del EF que la omisión de N en el abonamiento es el que más afectó el rendimiento (76%), indicando que la disponibilidad de este nutriente en el suelo es escaso; al observar los Rr (%) correspondientes a la técnica del EP, igualmente se observa que la adición de este nutriente resulta en la mayor respuesta del cultivo (139%).

Tabla 3.12. Prueba de Duncan para rendimiento de MS de cebada (9 plantas/maceta).

Trat.	(g/maceta)	Rr (%)	(ALS)0.05		
T8 (C)	1.5433	100.00	a		
T4 (-K)	1.4900	96.55	a		
T6 (-P)	1.4600	94.60	a		
T2 (+N)	1.3900	139.00	a	b	
T7 (-N)	1.1733	76.03		b	c
T3 (+P)	1.0133	101.33			c
T1 (T)	1.0000	100.00			c
T5 (+K)	0.9867	98.67			c

La figura 3.6 indica que el nutriente más deficiente en este suelo es el N, porque alcanzó la mayor pendiente (0.1069) en los modelos lineales.

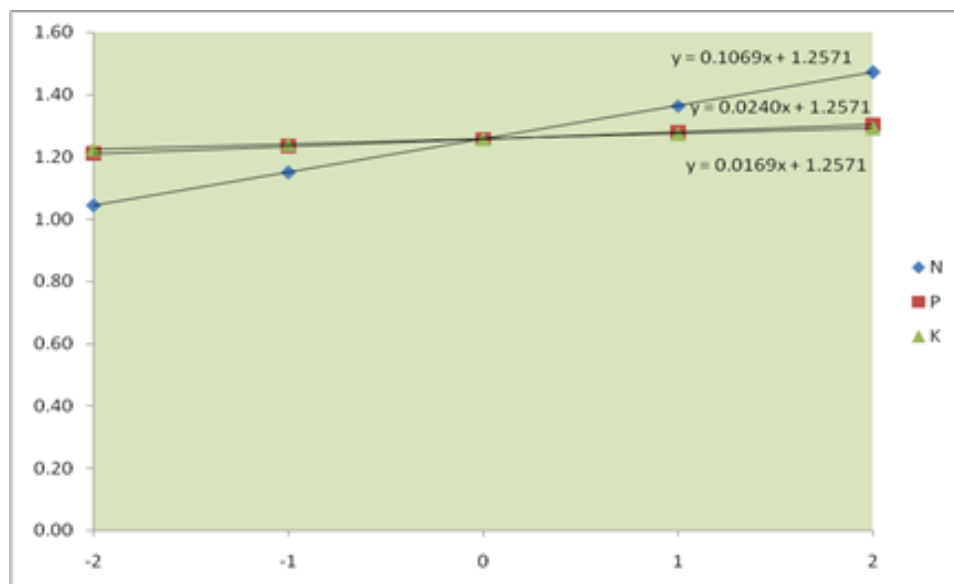


Figura 3.6. Respuesta de la cebada (9 plantas/maceta) a la aplicación de N, P y K, a niveles medios de los otros dos nutrientes

Los resultados indican que el comportamiento del tomate y de la cebada en cada una de las densidades sigue la misma tendencia respecto a los tratamientos. No hay duda, de que el incremento en el rendimiento de materia seca, es influenciado por la aplicación de abonos, más aún debido a que el suelo utilizado tiene escaso contenido de materia orgánica.

Los resultados de los Rr (%) para las técnicas del EF y del EP, tanto en tomate y cebada están asociados con los resultados del análisis del suelo (contenidos de N total, P y K disponibles); es decir hay una correspondencia entre el contenido de N en el suelo y su respuesta en el cultivo.

Tal como mencionan Waugh, Cate y Nelson (197.3), debajo del nivel crítico se puede esperar una respuesta alta en el rendimiento del cultivo con adiciones adecuadas del nutriente bajo estudio; este es el caso del N, que de acuerdo al análisis del suelo es pobre. En el caso del P en algunos casos se observa una respuesta significativa, principalmente con tomate aunque no con cebada; en este caso el contenido de este

nutriente en el suelo apenas ha superado el rango de contenido medio (ligeramente alto), por lo que se observó alguna respuesta. Para el caso del potasio sólo se observó alguna respuesta con 3 plantas de cebada por maceta, pero no con 6 y 9 plantas por maceta, tampoco con el tomate.

Para el caso del P para suelos de Ayacucho, Arias (1978) determinó que el nivel crítico de P disponible es de 15 ppm, para el método de Bray-Kurtz; el suelo empleado en el presente experimento tiene 19,9 ppm de P. Podría ser por este motivo que hay alguna respuesta al fósforo.

Entre las técnicas del EF y del EP, parece ser que el EF detecta mejor la deficiencia del N y es el tomate el que mejor manifiesta esta deficiencia siendo más afectado que la cebada.

3.3 DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO FALTANTE Y PRESENTE.

La tabla 3.13, muestra los coeficientes de correlación simple de la relación entre los rendimientos relativos (%Rr) alcanzados con las técnicas del elemento faltante y del elemento presente en tomate y cebada.

A pesar de no haber alcanzado la significación estadística ($Pr > r: 0.0728$) se observa que la relación entre los Rr en tomate obtenidos con el EP y el EF tienen una relación inversa, como en el caso entre los Rr en cebada obtenidos con el EP y el EF ($Pr > r: 0.1062$); lo que significa que a mayor Rr para un nutriente con el EP le corresponde el menor Rr con el EF.

También se observa que hay una relación inversa significativa entre los Rr con EP en cebada y los Rr con EF en tomate ($Pr > r: 0.0145$). Al respecto, Tineo (2014) manifiesta que utilizando el EP los Rr más altos corresponden a los nutrientes que son escasamente disponibles en el suelo, la que tiene correspondencia con los Rr más bajos cuando se emplea el EF.

Tabla 3.13. Matriz de coeficientes de correlación simple, para rendimientos relativos con elemento faltante (EF) y elemento presente (EP), en tomate (T) y cebada (C).

	EP(T)	EF(T)	EP(C)	EF(C)
EP(T)	1.00000	-0.62350 0.0728	0.29925 0.4341	-0.02301 0.9531
EF(T)	-0.62350 0.0728	1.00000	-0.77344 0.0145	0.48317 0.1876
EP(C)	0.29925 0.4341	-0.77344 0.0145	1.00000	-0.57385 0.1062
EF(C)	-0.02301 0.9531	0.48317 0.1876	-0.57385 0.1062	1.00000

Las plantas se desarrollan mejor cuando las condiciones del suelo son adecuadas en cuanto a sus exigencias. Ya en 1813 Sir Humphrey Davy, afirmaba que la causa de la improductividad de un suelo podría ser determinada con un análisis químico (Tisdale y Nelson, 1985). Asimismo, si hay correlación entre la cantidad de nutrientes determinada por el método químico y la cantidad requerida por la planta se puede estimar la necesidad de aplicar o no los fertilizantes (Jackson, 1976).

Las ventajas de las pruebas químicas y biológicas tienen un valor como base para recomendar la adición de fertilizantes, estos resultados deben estar correlacionados con las respuestas de las cosechas en los campos (Tisdale y Nelson, 1985). De esta forma, se puede afirmar que es posible realizar recomendaciones para el uso de abonos fosfóricos y potásicos, empleando las técnicas del elemento faltante y del elemento presente.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se condujo el presente estudio, los resultados encontrados permiten arribar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. El número de plantas por maceta, de tomate (1, 2 y 3) o de cebada (3, 6 y 9), no influye en los valores de los rendimientos relativos; la tendencia de los resultados son las mismas; en cada especie. La relación entre los Rr obtenidos con la técnica del elemento faltante, y los obtenidos con en la técnica del elemento presente es inversamente proporcional.
2. Las plantas indicadoras (tomate y cebada), responden al abonamiento con N, P y K, en el suelo utilizado, manifestándose mejor a la inclusión de N, en la técnica del elemento presente o a la omisión de N en la técnica del elemento faltante; resultados que guardan relación con el bajo contenido de Materia orgánica (2,04%) y nitrógeno del suelo (0,10%), así como con los niveles alto y muy alto de P (19,93 ppm) y K (315 ppm) disponibles, respectivamente. El orden de deficiencia de nutriente ($N > P > K$) detectado con el tomate coincide con el contenido de estos nutrientes determinados en el análisis del suelo.
3. El tomate como planta indicadora es más sensible que la cebada; en la técnica del elemento faltante la no inclusión de N se traduce en rendimientos relativos más bajos (41,23%), respecto a la cebada (71,20%); la no inclusión de P también afecta algo al tomate (66.67%), mientras que la cebada no es muy sensible a esta reducción del rendimiento de materia seca (89,20%).

RECOMENDACIONES

1. Recomendar la realización del análisis de caracterización de suelos en la implementación de programas, planes y/o proyectos de índole agrícola para contrastar sus resultados con los del presente estudio.
2. Para confirmar que el tomate es mejor planta indicadora que la cebada debe realizarse ensayos con más variabilidad de suelos.
3. Trabajar con diversas formulaciones de N, P y K, para evaluar mejor la técnica del Elemento Faltante y del Elemento Presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Arias, J. C. 1978.** Evaluación del Fósforo Disponible en algunos Suelos Agrícolas de las Provincias de Huanta, La Mar, Cangallo y Huamanga del Departamento de Ayacucho. Tesis Ing. Agrónomo, UNSCH.
2. **Bear, F. E. 1958.** Suelos y Fertilizantes. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
3. **Black, C. A. 1975.** Relaciones Suelo- Planta. Editorial Hemisferio Sur. 1ra edición. Tomo II.
4. **Buckman, H. O.; Brady, N. C. 1985.** Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Edit. Hispanoamericana, Barcelona.
5. **Cate, R. B. Jr.; Nelson, L. A. 1965.** A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. Int. Soil Testing Ser. Tech. Bull. 1. North Carolina State university, Raleigh.
6. **Cate, R. B. Jr.; Nelson, L. A. 1971.** A single statistical procedure for partitioning soil test correlation data cases soil Sci. Soc. Amer. Proc.
7. **Cepeda, J. 2009.** Fertilidad de Suelos II (Apuntes de clase). Escuela de Agronomía. Universidad Autónoma de Santo Domingo. Santo Domingo. República Dominicana.
8. **Chonta, E. B. 1979.** Fijación y Adsorción de sulfatos en suelos de Puna de 3,450 a 4,100 msnm en Allpachaka (Ayacucho). Tesis Ing. Agrónoma. UNSCH.
9. **Domínguez, A. 1978.** Abonos Minerales. Ed. Ministerio de Agricultura. Madrid-España.
10. **Donahue, R.; Miller, R.; Shickluna, J. 1981.** Introducción a los Suelos y el crecimiento de las Plantas. Editorial Dossat, S.A.- España.
11. **Fassbender, H. W. 1975.** Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José – Costa Rica.
12. **FERTITEC. 2007.** Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. Disponible: exa.unne.edu.ar/.../FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf. Recuperado el 25/09/2015.
13. **Gros, A. 1981.** Abonos. Guía práctica de la fertilización. Ed. Mundi Prensa S.A. Madrid. España.
14. **Hunter, A. H.; Fitts, J. W. 1971.** "Economically sound Fertilizer recommendation based on soil analysis. Proc. Int. Symp. soil Fert. Eval. (New Delhi).

15. **Ibáñez, R. A.; Aguirre, G. 1983.** Fertilidad del suelo: manual de prácticas. Programa Académico de Agronomía. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho.
16. **Jackson, M. L. 1976.** Análisis químico de suelos. Trad. José Beltrán. Edit. Omega S.A. 3ra Edic. Barcelona-España.
17. **Mengel, K.; Kirkby, E. A. 1979.** Principles of Plant Nutritiun. Editors: International Potash Institute, 2nd edition.
18. **Martini, J. A. 1969.** Caracterización del Estado Nutricional de los Principales Latosoles de Costa Rica, mediante la técnica del Elemento Faltante en el invernadero. IICA Turrialba, Costa Rica.
19. **Martin, A. 1980.** Introducción a la microbiología del suelo. Editorial AGT, México
20. **Millar, C. E. 1964.** Fertilidad del Suelo. Primera edición, Salvat Editores, S.A. Barcelona-España.
21. **Millar, C. E.; Turk, L. M.; Foth, H. D. 1971.** Compañía Editorial Continental, S.A. México
22. **Palomino, R. J. 1987.** Estado nutricional de algunos suelos Agrícolas de las Provincias de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcashuamán del Departamento de Ayacucho. Tesis Ing. Agrónomo. UNSCH.
23. **Primo, E.; Carrasco, J. M. 1973.** Química Agrícola. Editorial Alhambra. Madrid, España.
24. **Rodríguez, F. 1982.** Fertilizantes, Nutrición Vegetal. Primera Edición A.G.T. Editor, S.A. México.
25. **Rusell J.; Rusell W. 1961.** Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. Ed. Aguilar S.A. Madrid-España.
26. **Teuscher, H.; Adler, R.; Seaton P. J. 1981.** El Suelo y su Fertilidad. Sexta reimpresión, Compañía Editorial Continental, S.A. México.
27. **Tineo, A. L. 2004.** Diagnóstico de la fertilidad de suelos con el diseño estadístico de tratamientos 03 de Julio. En Resúmenes del IX Congreso Nacional y II Internacional de la Ciencia del suelo. Cusco.
28. **Tineo, A. L. 2014.** Superficies de respuesta: El Diseño 03 de Julio. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, UNSCH, Ayacucho.
29. **Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. 1985.** Fertilidad de Suelos y Fertilizantes. Edit. Montaner y Simón S.A. Barcelona - España.

30. **Waugh, D. L.; Cate, R. B.; Nelson, L. A. 1973.** Modelos Discontinuos para una rápida correlación, Interpretación y Utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Boletín técnico N° 07. Internacional Soil Fertility. Evaluation & Improvement Program.

ANEXOS



MULTISERVICIOS "AGROLAB"

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORIA Y CAPACITACION EN EVALUACION,
MUESTREO DE SUELOS, INTERPRETACION DE
RESULTADOS DEL ANALISIS AGRICOLA, USO,
MANEJO Y CONSERVACION DE SUELOS

ANALISIS DE SUELOS: CARACTERIZACION

Solicitante: Sr. Ivan Carrasco

Departamento: Ayacucho

Fecha: 09-08-13

Provincia: Víctor Fajardo

Distrito: Cayara

Predio:

Lab	Numero de muestra		pH (1:2.5)	C.E. dS.m ⁻¹	CO ₃ ⁻ %	Nt %	MO %	P ppm	K ppm	Analisis Mecanico			Clase Textural	CIC	Cationes cambiabiles				% Sat. De Bases	
	Campo									Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺		Al ³⁺ + H ⁺
3549	Cayara		7.97	0.18	7.65	0.1	2.04	19.93	315	40	33	27	Fr.Ar.	22.23	18.35	2.65	1.14	0.09	0.00	100

AGROLAB
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS,
PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES
M. SC. ING. EN AGRICULTURA Y GANADERIA
M. SC. EN MANEJO DE LABORATORIO

A= arena, A.F= Arena franca; Fr.A.= Franco arenoso; F= Franco; Fr.L =Franco limoso; L =Limoso; FrArA= Franco arcillo arenoso; FrArL= Franco arcillo limoso; FrA= Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urbanización Mariscal Cáceres Manzana G-12.

Celular: 966938028, 966631889 RPM *758028, *751889

e-mail: agrolab01@yahoo.es

**ANEXO 1.
ANÁLISIS DE SUELO**

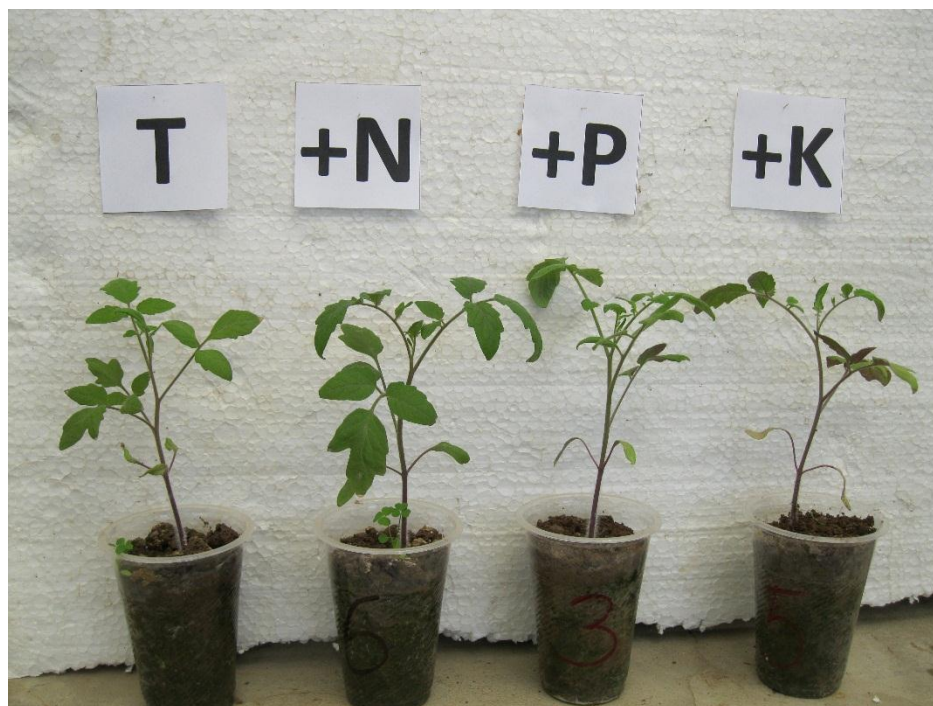
ANEXO 2.
PANEL FOTOGRÁFICO



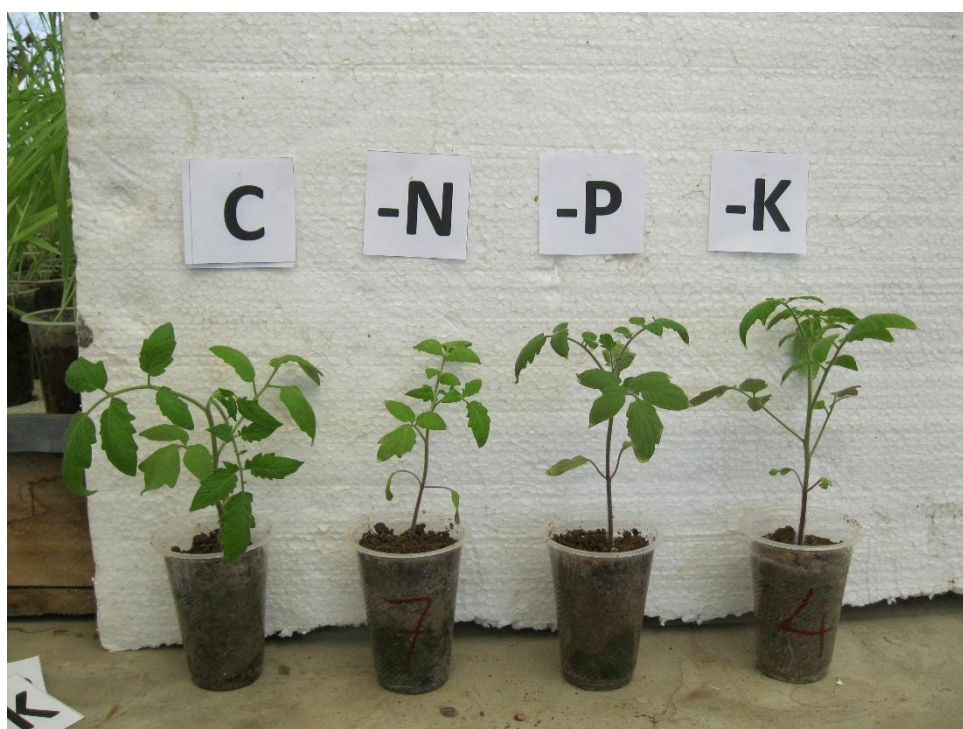
Fotografía a1. Tomate con la “Técnica del elemento faltante y elemento presente” una planta por maceta.



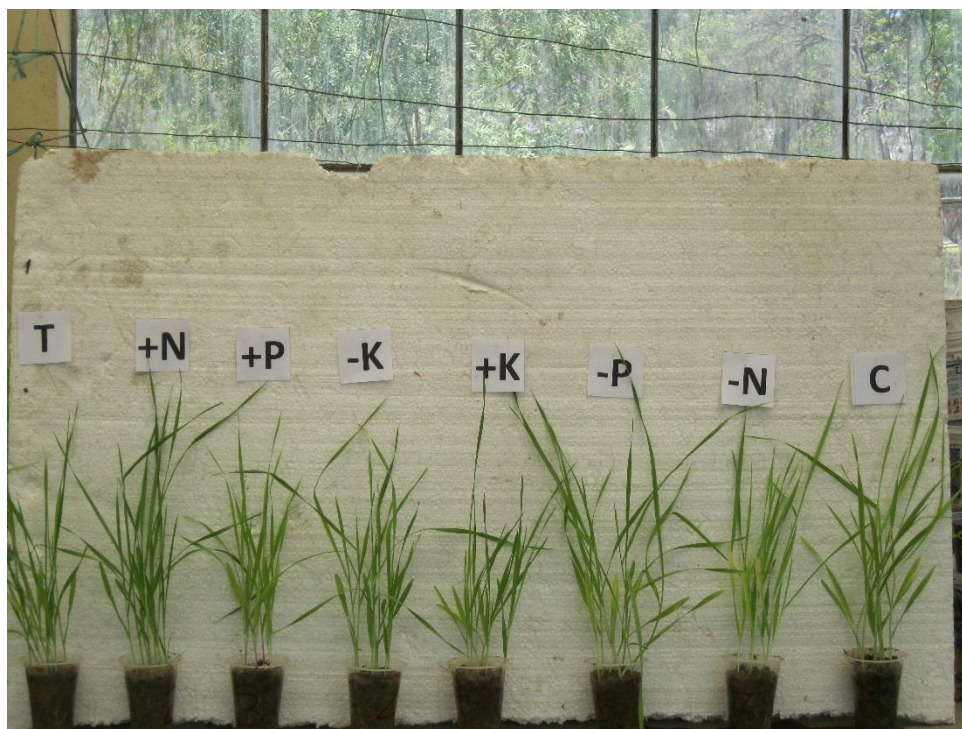
Fotografía a2. Tomate con la “Técnica del elemento faltante y elemento presente”. dos plantas por maceta.



Fotografía a3. Plantas de Tomate con la “Técnica del elemento presente”. una planta por maceta



Fotografía a4. Plantas de Tomate con la “Técnica del elemento faltante”. una planta por maceta



Fotografía a5. Plantas de Cebada con la “Técnica del elemento faltante y elemento presente” nueve plantas por maceta.



Fotografía a6. Plantas de Cebada con la “Técnica del elemento presente”. seis plantas por maceta



Fotografía a7. Plantas de Cebada con la “Técnica del elemento faltante”. nueve plantas por maceta.



Fotografía a8. Plantas en proceso de lavado.