

Determinación del estado nutricional de un suelo, usando el método del elemento faltante.

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

Presentado por:

Pablo Guillermo Zacarias Batres.

| | |
|-------------|-------|
| MICROCISIS: | _____ |
| FECHA: | _____ |
| ENCARGADO: | _____ |

Zamorano-Honduras
Abril, 1999

#974
Copie

DEDICATORIA

A mi familia por apoyarme

BIBLIOTECA INSTITUCIONAL
ESCUELA AGROPECUARIA Y GANADERA
TECHNICAL COLLEGE
AGROPECUARIA Y GANADERA

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por estar conmigo siempre.

A mis amigos del PIA y PA, en especial a la colonia nicaraguense por los momentos vividos.

A mis asesores por el tiempo que me han brindado.

RESUMEN

Zacarias, Pablo 1999. Determinación del estado nutricional de un suelo utilizando el método del elemento faltante. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo Zamorano, Honduras.

Hoy en día en las producciones agrícolas, el suelo ha tomado una importancia vital tanto para los investigadores como para el productor en sí, por lo que el uso y conservación del mismo ha cobrado gran importancia, y dentro de éstos, el análisis de los mismos es necesario cuando se quiere dar un uso racional del recurso suelo. El presente estudio está hecho en base a una de la técnicas de determinación de calidad de suelo, que es el método del elemento faltante, ésta es una técnica llamada biológica por usar plantas como indicadores de fertilidad. Para este estudio se utilizó el frijol como planta indicadora de fertilidad. Se evaluó el suelo de Zavala Iotel ubicado en El Zamorano con el fin de determinar los nutrimentos limitantes en él, las variables medidas fueron: altura de la planta (se tomó semanalmente durante cuarenta y cinco días), peso seco y fresco del material vegetativo (a los cuarenta y cinco días de germinación) y peso seco y fresco de las raíces (al final del estudio). La conclusión a la que se llegó fue que los elementos más limitantes en el suelo para las plantas de frijol fueron el Nitrógeno y el Magnesio, para los cuales las plantas presentaron menores crecimientos de raíces y material vegetativo así como menor acumulación de materia seca.

Palabras claves: nutrición vegetal, nutrimentos, deficiencias, elemento faltante.

NOTA DE PRENSA

NITRÓGENO Y MAGNESIO LIMITANTES EN EL DESARROLLO DEL
FRIJOL

Las limitantes en la producción de frijol son variadas e incluyen desde formas y sistemas de producción, labores culturales y la suplementación adecuada de nutrimentos al suelo. Se llevó a cabo un ensayo de suplementación de nutrimentos en el Zamorano, Francisco Morazán, donde se utilizó una técnica llamada técnica del elemento faltante o aditivo, para lo cual se tomó suelo del lote 1 de Zavala, propiedad de la Escuela Agrícola Panamericana. Para el estudio se usaron semillas de frijol Tío Canela, y se condujo desde la germinación de las semillas hasta los 45 días de su período vegetativo.

En el ensayo se probó la suplementación de aquellos nutrimentos que se encontraban deficientes en el suelo para lo cual se midieron las variables: altura, peso fresco del material vegetativo, peso seco del material vegetativo y peso fresco y seco de las raíces.

Los resultados obtenidos indican que a los 45 días de germinadas las plantas la influencia de los nutrimentos sobre las variables estudiadas son notables, ya que las plantas que no tuvieron suplementación de ningún nutrimento, tuvieron menor desarrollo en cada una de las variables que fueron observadas, lo mismo sucedió con los tratamientos a los que les fue suprimida la suplementación de nitrógeno y magnesio. Se pudo observar que el cobre tuvo de la misma manera influencia sobre la acumulación de materia seca de el material vegetativo y el desarrollo de las raíces.

Con todo lo observado en el estudio se recomienda que se realicen análisis de suelos periódicos a aquellos suelos destinados a la producción de frijol, con el objetivo de suplementar adecuadamente a los cultivos y evitar con esto pérdidas monetarias ya sea por un uso excesivo de fertilizantes o por una merma en el rendimiento ante la ausencia de los nutrimentos necesarios para el óptimo desarrollo del cultivo.

CONTENIDO

| | | |
|----------|--|------|
| | Portadilla | i |
| | Autoría | ii |
| | Página de firmas..... | iii |
| | Dedicatoria..... | iv |
| | Agradecimientos..... | v |
| | Resumen | vi |
| | Nota de prensa..... | vii |
| | Contenido..... | viii |
| | Índice de cuadros..... | ix |
| | Índice de anexos..... | x |
| I | INTRODUCCION..... | 1 |
| | | 1 |
| 1.1 | Objetivo general..... | 2 |
| 1.2 | Específicos..... | 2 |
| II | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 | Suelo..... | 3 |
| 2.2 | Funciones del suelo..... | 3 |
| 2.3 | Componentes del suelo..... | 3 |
| 2.3.1 | Porción mineral del suelo..... | 4 |
| 2.3.2 | Porción orgánica del suelo..... | 4 |
| 2.4 | Nutrientes y la planta..... | 5 |
| 2.4.1 | Funciones de los elementos en las plantas..... | 5 |
| 2.4.1.1 | Nitrógeno..... | 5 |
| 2.4.1.2 | Fósforo..... | 5 |
| 2.4.1.3 | Potasio..... | 6 |
| 2.4.1.4 | Calcio..... | 6 |
| 2.4.1.5 | Magnesio..... | 6 |
| 2.4.1.6 | Azufre..... | 6 |
| 2.4.1.7 | Boro..... | 6 |
| 2.4.1.8 | Cloro..... | 7 |
| 2.4.1.9 | Hierro..... | 7 |
| 2.4.1.10 | Manganeso..... | 7 |
| 2.4.1.11 | Molibdeno..... | 7 |
| 2.4.1.12 | Níquel..... | 7 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4.1.13 | Cobre..... | 7 |
| 2.4.1.14 | Zinc..... | 8 |
| 2.4.2 | Factores que limitan la absorción de nutrimentos..... | 8 |
| 2.4.3 | Indicadores de fertilidad..... | 8 |
| 2.5 | Técnica del elemento faltante..... | 9 |
| 2.5.1 | Fundamentos de la técnica..... | 9 |
| III | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 10 |
| 3.1 | Material vegetativo..... | 10 |
| 3.2 | Unidad Experimental..... | 11 |
| 3.3 | Tratamientos..... | 11 |
| 3.4 | Diseño estadístico..... | 12 |
| 3.5 | Variabes estudiadas..... | 12 |
| 3.5.1 | Altura de la planta..... | 12 |
| 3.5.2 | Peso fresco..... | 13 |
| 3.5.3 | Peso seco..... | 13 |
| 3.6 | Labores culturales..... | 13 |
| 3.6.1 | Análisis de suelo usado en el ensayo..... | 13 |
| 3.6.2 | Aplicación de sustancias nutritivas..... | 13 |
| 3.6.3 | Riego..... | 13 |
| 3.7 | Análisis estadístico..... | 13 |
| IV | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 14 |
| 4.1 | Componentes fenológicos..... | 15 |
| 4.1.1 | Altura de la planta a 45 días de germinación..... | 15 |
| 4.1.2 | Peso fresco del material vegetativo..... | 16 |
| 4.1.3 | Peso seco del material vegetativo..... | 17 |
| 4.1.4 | Peso fresco de las raíces..... | 18 |
| 4.1.5 | Peso seco de las raíces..... | 18 |
| V | CONCLUSIONES..... | 20 |
| VI | RECOMENDACIONES..... | 21 |
| VI | BIBLIOGRAFÍA..... | 22 |

INDICE DE CUADROS

Cuadro

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Factores que afectan el potencial de rendimiento del cultivo..... | 8 |
| 2. | Resultados del análisis de suelo del lote 1 de Zavala, Zamorano..... | 10 |
| 3. | Recomendación de niveles de nutrimentos para el ensayo..... | 11 |
| 4. | Cantidad de nutrimentos utilizados en el ensayo, Zamorano, 1999..... | 12 |
| 5. | Resultados obtenidos en el estudio de las variables agronómicas que se evaluaron en el ensayo a los 45 días de germinación | 13 |
| 6. | Niveles de significancia de los contrastes..... | 14 |
| 7. | Comparación y niveles de significancia obtenidos para la altura de las plantas..... | 15 |
| 8. | Comparación de los pesos frescos promedio del material vegetativo a los 45 días después de germinación..... | 16 |
| 9. | Comparación de los pesos secos promedio del material vegetativo a los 45 días después de germinación..... | 17 |
| 10. | Comparación de los pesos frescos promedio de las raíces a los 45 días después de germinación..... | 18 |
| 11. | Comparación de los pesos secos promedio de las raíces a los 45 días de germinación..... | 19 |

1. INTRODUCCION

Hoy en día en las producciones agrícolas, el suelo ha tomado una importancia vital tanto para los investigadores como para el productor en sí, por lo que el uso y conservación del mismo ha cobrado gran importancia, y dentro de estos, el análisis de los mismos es necesario cuando se quiere dar un uso racional del recurso suelo.

Para Sánchez (1981), la evaluación de la fertilidad del suelo es el proceso mediante el cual se hace un diagnóstico de los problemas de nutrición para hacer recomendaciones de fertilización. En estos análisis, se mide cuantitativamente el contenido de cada uno de los elemento esenciales que se encuentran presentes en el suelo (Kass, 1997). Marschner (1995), añade que los análisis de suelos son una manera fácil y accesible de obtener información acerca de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo.

El análisis de suelo es una de las herramientas de planificación y de apoyo útiles en cualquier explotación agraria. Para Cook (1962) los métodos mas eficientes para la medición de la capacidad productiva de los suelos son aquellos en los que se utilizan las apariciones de síntomas como indicativo de la insuficiencia de nutrimentos en el suelo.

Sin embargo, se puede llegar a conclusiones interesantes partiendo del análisis conjunto de suelo y de la planta, así, podremos juzgar la eficiencia con la que se absorben los elementos nutritivos (Teuscher y Adler, 1965) .

Una de las técnicas usadas en la evaluación del estado nutricional de los suelos es la técnica del elemento faltante, la cual combina la utilización de plantas indicadoras y análisis de suelos (Millar et al. 1962).

Esta técnica incluye la utilización de plantas indicadoras en condiciones de campo o invernadero, a las que se les agrega un fertilizante completo, y una serie de tratamientos en los cuales se le deja de agregar uno de los elementos (Sánchez, 1981).

Briceno y Pacheco (1984), señalan que el estudio de plantas bajo condiciones de invernaderos en realidad un conocimiento preliminar, mediante el cual se logra determinar hasta cierto punto cuales nutrimentos en el suelo son limitantes para el crecimiento normal de las plantas, sin embargo, no se pueden tomar los datos obtenidos como concluyentes y extrapolables a las condiciones de campo.

Las técnicas del elemento faltante tienen la desventaja de que solo se obtienen datos a principio del crecimiento de las plantas, además las deficiencias nutritivas pueden ser exageradas, pero aún con eso la importancia relativa del estudio es significativa.

La relevancia de estudios de la fertilidad de los suelos radica en que al momento de elaborar un plan de fertilización en aquellas explotaciones agrícolas que busquen la sostenibilidad de sus sistemas, por lo que el uso de técnicas como la presente es de importancia para lograr un manejo adecuado del recurso suelo.

En este estudio, se utilizaron dos cultivos como indicadores de la fertilidad del suelo, con el propósito de observar su comportamiento bajo los tratamientos a evaluar, presentándose el inconveniente de la pérdida de uno de ellos (arroz) por efectos ajenos al estudio.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 SUELO

El suelo de nuestro mundo es el "gran proveedor", el almacén de la naturaleza que proporciona el sustento necesario para el hombre, los animales y las plantas (Teuscher y Adler, 1965).

Según Fariás (1994), el suelo es un sistema altamente complejo y dinámico, constituido por una capa superficial, relativamente delgada, de material más o menos disperso que se encuentra en la litósfera, del cual depende en gran parte el crecimiento de las plantas y la alimentación de los seres vivos que habitan la superficie de la tierra.

Brady y Weil (1999), señalan que existen dos conceptos de suelo, uno que se refiere al suelo como un producto de la naturaleza, derivado de las acciones bioquímicas y climatológicas que sobre él actúan y el otro concepto se refiere al suelo como el hábitat natural de las plantas, que fundamenta el estudio del mismo sobre esa base. Cada uno de estos corresponde a conceptos pedológicos y edafológicos.

2.2 FUNCIONES DEL SUELO

Entre las funciones de mayor importancia en el suelo están: a.) anclaje para las raíces y soporte mecánico para el follaje; b.) suministro de agua a las plantas; c.) Proporcionar nutrimentos esenciales para las plantas; y d.) suministro de oxígeno a las raíces y eliminación del bióxido de carbono (Fariás, 1994). Brady y Weil (1999), añaden que el suelo es básico para el reciclamiento de nutrimentos en el ecosistema natural y es el sostén de todos los hábitats para el desarrollo de la vida en el planeta.

2.3 COMPONENTES DEL SUELO

El suelo contiene tres fases: Sólida líquida y gaseosa. La fase sólida la componen partículas minerales y orgánicas de diferentes formas tamaños y arreglos, y constituyen el esqueleto o matriz del suelo, el cual contiene una cantidad variable de poros; estos pueden estar llenos de la solución de suelo o de aire (Fariás, 1994).

Las partículas minerales sólidas totales del suelo, abarcan cerca del 45% del volumen del suelo, y de esta el 5% es materia orgánica, un óptimo de humedad para el crecimiento de las plantas es de 25% y el otro 25% restante debe ser aire (Fariás, 1994).

2.3.1 Porción mineral del suelo

Teuscher y Adler (1965), señalan que la fracción mineral del suelo, está integrada de todos los tipos de rocas descompuestas conteniendo la totalidad de los minerales existentes en la tierra.

Para Brady y Weil (1999), la porción mineral del suelo, es variable en tamaño y composición. Está compuesta de pequeños fragmentos de roca y minerales de varios tipos. Los fragmentos de roca, están compuestos a su vez de agregados de minerales como residuos de la roca madre.

Brady y Weil (1999), sostienen que las partículas minerales de los suelos, son variables en tamaño, siendo las arenas las más grandes (0,05-2mm de diámetro) seguidas por el limo (0.002-0.05mm de diámetro) y las partículas mas pequeñas son las arcillas, las cuales miden <0.002mm de diámetro.

La fracción mineral determina frecuentemente muchas de las propiedades físicas y químicas de los suelos. Las partículas minerales se derivan de la meteorización de las rocas existentes sobre la superficie de la tierra (Fariás 1994).

2.3.2 Porción orgánica del suelo

Para Brady y Weil (1999), la materia orgánica del suelo, comprende una acumulación de residuos de plantas y animales parcialmente descompuestos así como de otros compuestos orgánicos sintetizados en los suelos por la acción de microorganismos.

La materia orgánica del suelo, se encuentra estrechamente relacionada con la productividad agrícola. Las mejores condiciones físicas, químicas, y biológicas para los cultivos se encuentran preferentemente en suelos con alto contenido de materia orgánica. De acuerdo con su estado de descomposición, la materia orgánica se puede clasificar en tres categorías: seres vivos, hojarasca y humus (Fariás, 1994).

Teuscher y Adler (1965), sostienen que la materia orgánica, frecuentemente llamada humus, es uno de los constituyentes más importantes del suelo vivo, en lo que concierne a desarrollo de la planta. Ellos clasifican la materia orgánica del suelo en dos categorías: a) materia orgánica de reserva; es decir aquella fracción que permanece sin descomponer o que está en proceso de descomposición, y que por las influencias químicas, y biológicas se transforma gradualmente en humus y b) humus, es decir, la porción orgánica totalmente descompuesta y estable que se encuentra en tamaño coloidal.

Prasad y Power (1997), añaden que el humus es un componente importante dentro del suelo, e indican las funciones que este cumple dentro del mismo; como la de liberar N al

suelo, efecto sobre la capacidad buffer, influencia benéfica sobre la capacidad de intercambio catiónico y aniónico, así como la absorción de pesticidas y otros agroquímicos.

2.4 NUTRIMENTOS Y LA PLANTA

Teuscher y Adler (1965), señalan que se han identificado hasta 64 elementos químicos en los tejidos de las plantas vivas, pero solo ha sido posible asignar una función útil a unos 25.

Prasad & Power (1997) sostienen que existen 16 elementos considerados como esenciales en las plantas, los cuales son carbono (C), hidrógeno (H), Oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl), y otros cuatro elementos a los que se les han encontrado funciones en algunas plantas como sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co) y vanadio (V). Marschner (1999), indica que también el níquel (Ni) es esencial para las plantas.

2.4.1 Función de los elementos en las plantas

2.4.1.1 Nitrógeno. Malavolta et al. (1964), señalan que el N esta presente en la síntesis de proteínas en la plantas, las cuales sirven como material plástico, para vigorizar la planta, como reservorio de N y por algunas propiedades enzimáticas en las mismas.

El N, es usado por la planta para la formación de aminoácidos, los que a su vez son precursores de proteínas, forman parte también de ácidos nucleicos que contienen la información genética y están presentes en la formación directa de proteínas. (Bennett, 1993). Hynes (1986), añade que además forma parte de la clorofila y que el N orgánico, constituye del 1 al 5% del peso seco de las plantas; además en hojas y estomas aproximadamente el 60% del N está presente como enzima o formando parte de las proteínas de la membrana celular. Una buena suplementación de N en las plantas, promueve el crecimiento y desarrollo radicular, así como el aprovechamiento en la absorción de otros nutrientes (Brady y Weil 1999).

2.4.1.2 Fósforo. El P desempeña un papel importante en la respiración, al actuar sobre la descomposición inicial de las hexosas, y en la acumulación, transferencia y utilización de energía, durante la respiración (Malavolta et al., 1964). Bennett (1993), añade que el P es un constituyente de algunos compuestos de la planta como fosfoproteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos.

Para Brady y Weil (1999), el P es un mineral esencial para el crecimiento, como componente del ADP y el ATP, involucrados en la síntesis energética de la planta. Además, tiene influencia en funciones metabólicas importantes como fotosíntesis,

fijación de N_2 , maduración del cultivo, desarrollo radicular, y mejoramiento de la calidad del cultivo entre otras.

2.4.1.3 Potasio. Para Bennett (1993), el K es fundamental para la turgencia de las plantas y como regulador de la presión osmótica de las células, así como regulador en la apertura de los estomas. Según Brady y Weil (1999), es también, un activador de enzimas que se encuentran involucradas en los procesos de metabolización de energía, síntesis de almidones, reducción de nitratos y degradación de los azúcares.

2.4.1.4 Calcio. Malavolta et al. (1964), afirman que este elemento forma sales con ácidos orgánicos que están ligados a moléculas protéicas; se encuentra también presente en la pared celular sobre la parte media de la lámina de la hoja. Además, Bennett (1993) afirma que el Ca está involucrado en la elongación y división celular y como regulador iónico en la traslocación de carbohidratos.

Actúa en la formación del granos y semillas, es un activador de unas cuantas enzimas así como componente estructural de oxalatos y pectatos de calcio (Bennett, 1993).

2.4.1.5 Magnesio. Para Teuscher y Adler (1965), el Mg interviene de forma directa en la producción del ATP, y otros polifosfatos importantes en la síntesis de proteínas. Malavolta et al (1964), añade que el elemento constituye el 2.7% de la molécula de clorofila, y es promotor de la actividad enzimática dentro de la planta.

El Mg ayuda en la formación de azúcares, aceites y grasas; también activa la formación de cadenas de polipéptidos de los aminoácidos (Bennett, 1993).

2.4.1.6 Azufre. El rol más importante del S dentro de la planta radica en que metabólicamente está involucrado en el metabolismo y carabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas, además de estar presente en aminoácidos y proteínas (Malavolta et al. 1964).

Según Teuscher y Adler (1965), este elemento se encuentra relacionado con el metabolismo del N en las plantas e influye de manera favorable en el desarrollo de las bacterias fijadoras de N_2 . Bennett (1993) sostiene además que es un componente estructural de varias coenzimas y grupos prostéticos.

2.4.1.7 Boro. Brady y Weil (1999), señalan que el B, activa ciertas enzimas dehidrogenasas, facilita la translocación de los azúcares y la síntesis de ácidos nucleicos. Es esencial también para el desarrollo y división celular.

El B tiene influencia sobre el metabolismo de carbohidratos, síntesis de proteínas y almidones, y se reporta su interacción con las auxinas (Bennett, 1993).

2.4.1.8 Cloro. Toma parte en la captura y almacenaje de la energía lumínica en el proceso de fotosíntesis, al estar involucrado en las reacciones de fosforilación y fotosíntesis y se encuentra asociado con K en la regulación de la presión osmótica (Bennett, 1993).

Se ha señalado también que los cloruros tienen influencia favorable sobre la economía del agua en la planta, y facilita la absorción de otros elementos (Teuscher y Adler 1965). Marschner (1995), agrega que el Cl está presente en la evolución del oxígeno de la fotosíntesis, y que regula la apertura de los estomas.

2.4.1.9 Hierro. Se encuentra presente en un grupo de enzimas que intervienen en la oxidación final de la respiración (Malavolta et al. 1964).

Gris, 1944, citado por Mortvedt, 1983, sostiene que el Fe es importante para el mantenimiento de la clorofila en la planta y se le conoce como componente de muchas enzimas y transportadores. Brady y Weil (1999) añaden a lo anterior que el Fe está relacionado con la fijación de N_2 , fotosíntesis y la transferencia de electrones.

2.4.1.10 Manganeso. Activa las enzimas decarboxilasa, dehidrogenasa y oxidasa, es importante para la fotosíntesis, metabolismo de N y su asimilación (Brady 1990). Es un componente de varios sistemas de enzimas, actúa también en los sistemas de transporte de electrones, y está presente como parte estructural de algunas metaloproteínas (Bennett 1993).

2.4.1.11 Molibdeno. Este elemento se encuentra presente en las enzimas: nitrogenasa y nitrato reductasa, que son esenciales para la fijación y asimilación de N_2 (Brady 1990).

2.4.1.12 Níquel. Está presente en ureasa e hidrogenasa, y ayuda a la fijación de N, amonio y nitrato principalmente para las plantas leguminosas (Marschner, 1995).

2.4.1.13 Cobre. Está presente en la formación de la pared celular y al igual que otros micronutrientes se encuentra también en el transporte de electrones y en las reacciones de oxidación (Bennett 1993). Además juega un papel importante en el metabolismo de proteínas y carbohidratos y muy probablemente en la fijación de N_2 (Brady 1990).

2.4.1.14 Zinc. Según Bennett (1993) este elemento funciona como parte de el sistema de transferencia de electrones así como en la síntesis y degradación de proteínas; constituye una de las mejores enzimas reguladoras de crecimiento.

El Zn promueve el desarrollo de hormonas y la formación de almidones dentro de la planta, y promueve la producción y maduración de la semilla (Brady 1990).

2.4.2 Factores que limitan la absorción de nutrimentos

Baligar y Duncan (1990) sostienen que los factores que limitan la absorción de nutrimentos son aquellos que se encuentran relacionados con factores de la planta, factores nutricionales, factores ambientales y asociación microbial. Foth (1985) añade que la composición nutricional de las plantas se encuentra relacionada a condiciones ambientales, y factores genéticos, siendo el genético el mas importante.

Tisdale et al. (1993) sostienen que hay por lo menos 50 factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas y la respuesta a los nutrimentos, los cuales los agrupa en factores de clima, suelo y factores del cultivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores que afectan el potencial de rendimiento del cultivo.

| Factores climáticos | Factores de suelo | Factores del cultivo |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Precipitación | Materia orgánica | Tipo de cultivo |
| Temperatura del aire | Textura | Fecha de siembra |
| Humedad relativa | Estructura | Calidad de semilla |
| Intensidad lumínica | Capacidad de intercambio catiónico | Evapotranspiración |
| Altitud/latitud | Saturación de bases | Disponibilidad de agua |
| Concentración de CO ₂ | Temperatura de suelo | Plagas y enfermedades |
| Viento | Factores de manejo | |
| | Profundidad del suelo | |

Tomado de Tisdale et al. (1993)

2.4.3 Indicadores de fertilidad

Para Sánchez (1981), los indicadores de fertilidad son aquellas plantas usadas como determinadoras de la fertilidad del suelo. Los métodos de determinación de calidad de suelos son mas completos si incluyen el uso de indicadores, ya que plantas sin una suplementación de nutrimentos adecuada presentarán síntomas evidentes de deficiencias tales como crecimiento lento y desarrollo anormal (Cook, 1962).

Sin embargo, Teuscher y Adler (1965), sostienen, que de manera general podría ser comprensible el tomar en cuenta a las plantas como elemento determinante de la

proporción de elementos presentes en el suelo, pero no debería tomarse como verdad absoluta, debido a la complejidad de factores que en sistema intervienen.

No obstante, se puede conjuntar el uso de indicadores con análisis de suelos y planta para juzgar, el estado nutricional de la planta y la eficiencia con la que los elementos nutritivos son absorbidos (Teuscher y Adler, 1965).

2.5 TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE O ADITIVO

Sánchez (1981) señala que la técnica del elemento faltante o aditivo es un procedimiento rápido para la detección de carencia de nutrimentos en el suelo, el cual incluye el uso de plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o en campo.

Esta 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 suelos (Henríquez, 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.

2.5.1 Fundamentos de la técnica

Esta técnica se fundamenta en el hecho de eliminar de la formula nutritiva completa que se añade a las plantas, un elemento metódicamente de manera tal que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora que se usa (Briceño y Pacheco 1984). Henríquez, et al. (1995) añaden que al hacer esto, se puede comparar la respuesta de cada uno de los nutrimentos en relación con una fertilización completa y obtener información sobre problemas nutricionales presentes en el suelo a estudiar.

ESCUELA DE INGENIERÍA DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

III MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en los invernaderos propiedad del Departamento de Agronomía, localizados dentro de el Zamorano, a 30 km al sureste de Tegucigalpa con una altitud de 805 metros sobre el nivel del mar El suelo utilizado para el experimento fue obtenido de los lotes de producción de Zavala lote 1.

El suelo es de textura franco arenosa, con un pH fuertemente ácido, con concentraciones de materia orgánica clasificada como de nivel medio, y con niveles variables de nutrimentos como se puede apreciar en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de suelo del lote 1 de Zavala, Zamorano, Honduras, 1999.

| ANALISIS | CANTIDAD | |
|-----------------------|----------|----------------------|
| pH (H ₂ O) | 5.3 | FA fuertemente ácido |
| Materia orgánica (%) | 3.03% | M medio |
| Nitrógeno total (%) | 0.08% | B bajo |
| Fósforo | 23 | M medio |
| Potasio | 131 | M medio |
| Calcio | 900 | M medio |
| Magnesio | 105 | B bajo |
| Cobre | 0.6 | N normal |
| Hierro | 37 | A alto |
| Manganeso | 8.6 | N normal |
| Zinc | 0.58 | B/N bajo-normal |
| Azufre | 14 | B/N bajo-normal |
| Boro | 0.82 | N normal |

Fuente: Laboratorio de Suelos, Departamento de Agronomía, Zamorano.

3.1 MATERIAL VEGETATIVO

Se usaron semillas de frijol (Tío Canela) las cuales se utilizan en los lotes de producción del Departamento de Agronomía.

3.2 UNIDAD EXPERIMENTAL

Se usaron maceteros de dos kg de capacidad, en los que fueron colocados 1.5 kg de suelo, y por cada macetero se colocaron cuatro semillas de frijol, que fue raleado a una planta después de germinado y para el caso del arroz se colocaron tres plantas por cada macetero, teniendo así unidades experimentales individuales de arroz y frijol.

Se usaron seis repeticiones en las que se evaluó el efecto de las fertilizaciones en las plantas al serie suprimidas sistemáticamente un elemento, para notar el efecto en estas y hacer inferencias sobre el estado nutricional del suelo.

3.3 TRATAMIENTOS

Para el ensayo se prepararon soluciones nutritivas partiendo de las recomendaciones hechas por Briceño y Pacheco, que se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Recomendación de niveles de nutrimentos para el ensayo

| Nutrimento | g/kg de suelo | Fuente del elemento |
|------------|---------------|--|
| N | 0.150 | CO (NH ₂) ₂ |
| P | 0.250 | NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O |
| K | 0.100 | KCl |
| Ca | 0.250 | CaCO ₃ |
| Mg | 0.150 | MgCO ₃ |
| S | 0.050 | Na ₂ SO ₄ |
| Zn | 0.010 | ZnCl ₂ |
| Mn | 0.020 | MnCl ₂ · 4H ₂ O |
| Fe | 0.024 | EDTA NaFe |
| Mo | 0.005 | Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O |
| B | 0.010 | H ₃ BO ₃ |
| Cu | 0.005 | CuSO ₄ |

Fuente: Briceño y Pacheco (1984)

Para poder aplicar las concentraciones adecuadas de nutrimentos, se tomó en cuenta lo que el suelo aporta, se hicieron los cálculos, eliminándose aquellos tratamientos en los que el suelo supla los niveles de nutrimentos requeridos por las plantas dando como resultado el cuadro que se presenta a continuación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cantidad de nutrimentos utilizados en el ensayo, Zamorano, 1999.

| Elemento | Compuesto utilizado | g/totales utilizados |
|----------|--|----------------------|
| N | NH ₄ NO ₃ | 11.10 |
| P | NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O | 26.70 |
| Mg | MgCl ₂ · 6H ₂ O | 8.37 |
| Cu | CuSO ₄ + 5H ₂ O | 0.49 |
| Mn | MnCl ₂ · 4H ₂ O | 1.21 |
| Zn | ZnCl ₂ | 0.56 |
| S | Na ₂ SO ₄ | 1.87 |
| B | H ₃ BO ₃ | 1.51 |
| Mo | Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O | 0.54 |

3.4 DISEÑO ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar 2 X 10 X 6, los factores corresponden a dos cultivos, 9 tratamientos de elementos faltantes un tratamiento completo y seis repeticiones. La toma de datos se inició una semana después de la germinación de las semillas, tomándose en adelante la altura de la planta semanalmente para evaluar su comportamiento en el tiempo, y al final del ensayo se evaluó el peso fresco y el peso seco del material verde con el fin de determinar el desarrollo vegetativo de los cultivos, así como el peso fresco y seco de las raíces.

3.5 VARIABLES ESTUDIADAS

Las variables que se estudiaron fueron:

3.5.1 Altura de la planta

Se inició la toma de datos a partir de la primera semana de germinados los cultivos, y cada siete días se tomaron los datos del comportamiento de cada uno de ellos. La altura se tomó desde la base hasta la punta de la hoja bandera en el arroz y desde la base hasta la última hoja en el frijol.

3.5.2 Peso fresco

El peso fresco se tomó cuando el cultivo tuvo 45 días de germinado, en los que se arrancaron el total de las plantas desde la base de los tallos también se tomó el peso fresco de las raíces, con la finalidad de evaluar su desarrollo en cada uno de los tratamientos.

3.5.3 Peso seco

Las plantas y raíces fueron puestas en un horno, de manera individual, a 70° C por 48 horas, para después pesarlas.

3.6 LABORES CULTURALES.

3.6.1 Análisis del suelo usado en el ensayo

Primeramente se determinaron los posibles suelos a utilizar, en base a los registros existentes en el Laboratorio de Suelos, en los que se buscaron aquellos suelos que estuvieran deficientes de nutrimentos, para luego tomar el suelo del lote 1 de Zavala.

3.6.2 Aplicación de las sustancias nutritivas

La aplicación de las sustancias nutritivas se realizó una semana después de germinadas las plantas, y consecutivamente se hizo una aplicación de estas cada siete días. No hubo necesidad de aplicar Ca y Fe, por proveer el suelo cantidades suficientes para el desarrollo de las plantas.

3.6.3 Riego

La cantidad de agua utilizada fue de 200 ml de agua de la llave, cada dos días excepto para las los tratamientos, completo y testigo en los que se utilizó agua deionizada.

3.7 ANALISIS ESTADISTICO

Para procesar los datos se utilizó el paquete estadístico SAS[®] 6.12, en el que se hicieron análisis de varianzas y contrastes entre los tratamientos con una probabilidad de error menor a 0.05

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de los tratamientos en el ensayo.

Se puede observar que en el ensayo se presentaron diferencias en altura peso fresco y seco de raíces y material vegetativo, las cuales fueron algunas de ellas significantes con una significancia igual o menor a 0,05, las que se explicarán más adelante.

Cuadro 5. Resultados obtenidos en el estudio de las variables agronómicas que se evaluaron en el ensayo a los 45 días de germinación.

| Tratamiento | Altura promedio (cm) | Peso fresco material vegetativo (g) | Peso seco material vegetativo (g) | Peso fresco de las raíces (g) | Peso seco raíces (g) |
|-------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Testigo | 28.7 | 7.88 | 5.43 | 0.89 | 0.52 |
| Sin P | 25.7 | 11.83 | 8.08 | 1.23 | 0.81 |
| Sin N | 23.5 | 13.42 | 7.28 | 1.00 | 0.52 |
| Completo | 31.0 | 16.81 | 10.48 | 1.27 | 0.79 |
| Sin Mg | 24.4 | 9.65 | 6.18 | 1.04 | 0.56 |
| Sin B | 27.1 | 15.09 | 8.83 | 1.22 | 0.76 |
| Sin Zn | 25.8 | 15.34 | 8.39 | 1.03 | 0.71 |
| Sin Mn | 24.6 | 14.31 | 6.49 | 1.11 | 0.68 |
| Sin S | 24.9 | 13.01 | 7.95 | 1.10 | 0.64 |
| Sin Cu | 26.9 | 12.79 | 5.84 | 1.09 | 0.62 |

En los contrastes de los tratamientos Testigo contra todos los demás, Completo contra todos los demás, y N contra los demás tratamientos, se pudo observar que hay significancia en el contraste de la mayoría de los tratamientos a excepción del peso seco de materia verde en el contraste de N contra los demás (Cuadro 6).

En el contraste de los tratamientos las diferencias entre agregar y no agregar nutrimentos al suelo y las diferencias en los tratamientos son debidas al efecto del desbalance de elementos nutritivos en las plantas, las cuales al tener una suplementación adecuada presentan mejor desarrollo en cuanto a las variables que fueron estudiadas hasta los 45 días de desarrollo de las plantas de frijol (Cuadro 6).

Testigo fue siempre inferior a los demás tratamientos por efecto del desbalance de nutrimentos que tuvieron las plantas de frijol a los 45 días después de germinación.

Cuadro 6. Niveles de significancia de los contrastes.

| Contraste | Altura | Peso fresco mat. verde | peso seco. mat. verde | peso fresco raíces | Peso seco raíces |
|----------------------|----------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| Testigo vs otros. | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** |
| Sin N vs otros | 0.0001** | 0.0001** | 0.0539n.s | 0.0001** | 0.0001** |
| Completo vs otros | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** | 0.0001** |

** altamente significativo n.s no significativo

4.1 COMPONENTES FENOLOGICOS

4.1.1 Altura de las plantas a 45 días de germinación

El modelo utilizado en el ensayo para medir esta variable fue altamente significativo con una probabilidad de 0.0001, un R^2 de 0.98 lo que indica que el modelo explica el 98% de la variabilidad obtenida y un coeficiente de variación de 1.00. Al aplicar una separación de medias simple, se pudo observar que las mayores diferencias se presentaron para el tratamiento Completo el cual es significativamente superior a todos los demás tratamientos, esto se explica por que una suplementación adecuada de nutrimentos a las plantas tienen efecto positivo en el desarrollo de las mismas (Cuadro 7).

Sin embargo para el caso del testigo se observa que tuvo un crecimiento significativamente más alto que la mayoría de los tratamientos, ya que se presentó una elongación de los tallos, pero que en el peso seco del material vegetativo de este tratamiento es el más bajo, debido a que se tuvo un ataque de pájaros y zompopos, los cuales defoliaron a todos los tratamientos por igual, pero el testigo mostró un crecimiento lento de los nuevos brotes, debido a que la suplementación de nutrimentos era nula y el suelo aportaba poca cantidad de los mismos (Cuadros 7 y 9).

La influencia de la falta de N en la altura es muy importante para las plantas de frijol a los 45 días, ya que este elemento esta presente en la síntesis de proteínas, formación de aminoácidos y forma parte de algunas enzimas, por lo que la ausencia de este elemento es factor importante en crecimiento de las plantas (Cuadro 7).

El tratamiento sin Mg presenta similitudes en el desarrollo de la altura para los tratamientos Sin S y sin Mn pero presenta diferencias significativas con los demás tratamientos, esto se explica por que el Mg está presente en la formación de ATP, y forma parte estructural de la membrana de la clorofila, lo que hace que el crecimiento pueda verse mermado ante la ausencia de este elemento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación y niveles de significancia obtenidos para altura de las plantas.

| Tratamiento | Altura | Agrupamiento |
|-------------|--------|--------------|
| Completo | 31.0 | A |
| Testigo | 28.7 | B |
| Sin B | 27.1 | C |
| Sin Cu | 26.9 | C |
| Sin Zn | 25.8 | D |
| Sin P | 25.7 | D |
| Sin S | 24.9 | E |
| Sin Mn | 24.6 | E |
| Sin Mg | 24.4 | E |
| Sin N | 23.5 | F |

D.M.S. 0.51

4.2 PESO FRESCO MATERIAL VEGETATIVO

Aquí se presento una alta significancia (probabilidad de 0.0001), un R^2 de 0.99 y un coeficiente de variación del 0.44%. En la separación de medias simples que se realizó se observó que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos entre sí debido a que cada uno de los elemento y sus deficiencias juegan un papel importante en el desarrollo de la planta, pero el peso fresco de la materia verde no es tan significativo por tener variables externas que pueden influir de manera determinante al obtener los datos, como puede ser la temperatura al momento de sacar las plantas, el contenido de humedad de las plantas y la cercanía con que el riego se haya realizado al momento de la toma de los datos (Cuadro 8.).

El Cuadro 8 muestra que todos los tratamientos son diferentes entre sí, se aprecia también que el Completo es el tratamiento que presenta mayor peso de material fresco y el Testigo es el de menor peso, esto indica que el no suplementar adecuadamente el cultivo de frijol hasta los 45 días tiene influencia sobre el desarrollo del material vegetativo.

Se nota que el Mg es un elemento limitante en el suelo de Zavala lotel ya que las plantas a las cuales no se les suplió Mg presentan poco desarrollo por ser este elemento importante para la formación del ATP que es fuente de energía para la planta, este tratamiento fue superior tan solo al testigo (Cuadro 8).

El testigo presentó una mayor altura debido posiblemente a una absorción más eficiente de los nutrimentos presentes en el suelo, es decir se debió a que la plantas absorbieron más rápidamente los nutrimentos que aquellas a los que se les suplementaba con las soluciones nutritivas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación de pesos frescos promedio de material vegetativo a los 45 días después de germinación.

| Tratamiento | Pesos frescos | Agrupamiento |
|-------------|---------------|--------------|
| Completo | 16.81 | A |
| Sin Zn | 15.34 | B |
| Sin B | 15.09 | C |
| Sin Mn | 14.31 | D |
| Sin N | 13.42 | E |
| Sin S | 13.01 | F |
| Sin Cu | 12.79 | G |
| Sin P | 11.83 | H |
| Sin Mg | 9.65 | I |
| Testigo | 7.82 | J |

D.M.S. 0.111

4.3 PESO SECO DEL MATERIAL VEGETATIVO

Se presentó una alta significancia (probabilidad de 0.001) con un R^2 de 0.96 y un coeficiente de variación de 4.56%. Este R^2 es alto por lo que el efecto en el peso seco del material vegetativo se deben en un 96% al efecto de los tratamientos.

En la separación de medias se pudo observar que al igual que para el peso fresco del material vegetativo se encontraron diferencias significativas en la comparación del testigo con los demás con excepción del tratamiento Sin Cu en el que las diferencias encontradas no fueron significativas. El tratamiento Completo presenta diferencias significativas al comparársele contra los demás tratamientos. El tratamiento Sin Mg e presenta diferencias en peso significativamente más bajas en cuanto a la acumulación de materia seca, y solo es similar al tratamiento sin Mn, lo que indica la esencialidad de estos dos elementos para la planta (Cuadro 9).

El tratamiento Sin Cu presentó la menor acumulación de materia seca, que fue significativamente diferente a los demás excepto para los tratamientos Sin Mn, Sin Mg pero superior al Testigo, por lo que se puede decir que en el suelo estos tres elementos son limitantes para la acumulación de materia seca en las plantas de frijol a los 45 días después de germinación (Cuadro 9).

El N es otro de los nutrimentos que presentó diferencias significativas en cuanto el peso seco, atribuible a que el N total reportado en el análisis de suelo, no es la única fuente de N disponible para la planta, ya que el contenido de materia orgánica en el suelo es reportado como de nivel medio, lo que posiblemente tuvo influencia sobre el N que las plantas absorbieron (Cuadro 2).

Para el caso de Mg, se encontraron diferencias significativas que se presentan en la comparación con los demás tratamientos ya que se puede observar que la acumulación de materia seca se ve limitada a los 45 días del ciclo vegetativo del frijol por ser le tratamiento sin Mg uno de los tres pesos secos más bajos del total de los tratamientos (Cuadro 9).

Las diferencias de peso seco del testigo en comparación de los demás a excepción del tratamiento Sin Cu los cuales son significativamente inferiores en peso, lo que indica que el Cu se encuentra como factor limitante en la acumulación de materia seca a los 45 días del periodo vegetativo del frijol (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de los pesos secos promedio a los 45 días después de germinación.

| Tratamiento | Pesos secos | Agrupamiento |
|-------------|-------------|--------------|
| Completo | 10.44 | A |
| Sin B | 8.83 | B |
| Sin Zn | 8.49 | B C |
| Sin P | 8.07 | C |
| Sin S | 7.96 | C |
| Sin N | 7.27 | D |
| Sin Mn | 6.50 | E |
| Sin Mg | 6.14 | E |
| Sin Cu | 5.85 | E F |
| Testigo | 5.46 | F |

D.M.S. 0.65

4.4 PESO FRESCO DE LAS RAÍCES

El modelo empleado para el peso fresco de las raíces tuvo una significancia alta (F de 0.0001), con un R^2 de 0.97. El coeficiente de variación es de 2.65 que indica la poca variabilidad de los datos recolectados.

Al contrastar las medias de los tratamientos evaluados, se encontró que el testigo tuvo diferencias significativas para todos los tratamientos, lo que avala la aseveración de que la suplementación adecuada de nutrimentos al cultivo provee beneficios para el desarrollo de las plantas. Un elemento que presenta significancia en la comparación es el N el cual tiene influencia sobre el peso fresco y desarrollo de las raíces (Cuadro 10).

El Mg es un elemento que se encuentra limitante en el suelo, ya que el desarrollo de las raíces en cuanto a peso fresco se vió limitado, por ser el Mg un elemento importante para la actividad enzimática dentro de la planta de frijol a los 45 días de crecimiento vegetativo, ésto se puede observar en el cuadro 10.

No se encontraron diferencias entre el completo y los tratamientos Sin P y Sin B, por lo que se puede decir que el suelo suministró adecuados niveles de P y B para el peso fresco de las raíces de frijol a los 45 días del ciclo vegetativo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comparación de los pesos frescos promedios de las raíces a los 45 días después de la germinación.

| Tratamiento | Pesos frescos | Agrupamiento |
|-------------|---------------|--------------|
| Completo | 1.27 | A |
| Sin P | 1.23 | A |
| Sin B | 1.22 | A |
| Sin Mn | 1.11 | B |
| Sin S | 1.10 | B |
| Sin Cu | 1.09 | B C |
| Sin Mg | 1.04 | C D |
| Sin Zn | 1.03 | D |
| Sin N | 1.00 | D |
| Testigo | 0.88 | E |

D.M.S. 0.05

4.5 PESO SECO DE LAS RAÍCES

El modelo usado fue significativo a una probabilidad de 0.0001, tuvo un coeficiente de variación de 2.65% y una R^2 de 0.97.

En la separación de medias se nota influencia de P en la acumulación de materia seca en las raíces que presenta al igual que el tratamiento completo diferencias significativas contra los demás tratamientos, el Mg es otro elemento limitante en el suelo, ya que la media de este tratamiento es significativamente diferente a todos los tratamientos pero no mejor que los tratamientos sin N y al testigo, por lo que se puede decir que a los 45 días después germinación en el cultivo de frijol la falta de Mg es de suma importancia en la acumulación de materia seca en las raíces, pero que el N ejerce más importancia en ésta acumulación que Mg (Cuadro 11).

El N y el testigo no presentan diferencias significativas, por lo que se puede deducir que este nutriente es limitante en el suelo debido a que el N es importante en el crecimiento desarrollo radicular de las plantas de frijol a los 45 días de germinación y además importante para la absorción de otros nutrientes (Cuadro 11).

Cuadro II Comparación de los pesos secos promedios de la raíces a los 45 días de germinación.

| Tratamiento | Pesos secos | Agrupamiento |
|-------------|-------------|--------------|
| Sin P | 0.81 | A |
| Completo | 0.79 | A B |
| Sin B | 0.76 | B |
| Sin Zn | 0.71 | C |
| Sin Mn | 0.68 | C |
| Sin S | 0.64 | D |
| Sin Cu | 0.62 | D |
| Sin Mg | 0.56 | E |
| Sin N | 0.52 | F |
| Testigo | 0.52 | F |

D.M.S. 0.03

V. CONCLUSIONES

El suelo de Zavala lote 1 presenta deficiencias de nutrimentos que reducen la capacidad productiva del cultivo, por lo que se debe hacer una suplementación adecuada de nutrimentos por medio de la fertilización.

La adición de soluciones nutritivas al cultivo resulta en mayor ganancia de altura, peso seco y fresco del material vegetativo y peso seco y fresco de las raíces, al llenar los requerimientos adecuados para el desarrollo de las plantas, que tendría efecto directo sobre el rendimiento, si éste se llevara a madurez fisiológica.

Los resultados obtenidos en el ensayo, corroboran los resultados del análisis de suelo en el que los niveles de N y Mg presentan niveles bajos.

VI RECOMENDACIONES

Validar el ensayo a nivel de campo para ver la evolución del cultivo a lo largo del todo el ciclo vegetativo.

Llevar las plantas a madurez fisiológica para evaluar el rendimiento de las plantas.

Realizar estudios para los elementos Mg y N, los cuales fueron los que se encontraron como mayores limitantes en el suelo de Zavala lotel.

Tomar en cuenta el análisis de suelo para realizar una fertilización adecuada para el cultivo.

VI BIBLIOGRAFIA

- BALIGAR, V. C. DUNCAN, R.R. 1990. Crops as enhancer of nutrient. USA Academic Press, Hancourt Brace Hovanovich, Publishers. USA 543p.
- BRADY, N. Y WEIL, R. 1990. The nature and properties of soils. Mac Millan Publishing Company. Tenth edition. USA. 600p.
- BRADY, N. Y WEIL, R. 1999. The nature and properties of soils. Mac Millan Publishing Company eleventh edition. USA. 625p.
- BENNET, W. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. The American Phytopatological Society. USA. 193p.
- BRICEÑO, P. Y PACHECO, G. 1984. Muestreo de suelos. Instituto nacional de investigaciones agrícolas. México. 178p
- COOK, R. L. 1962. Soil management for conservation and production. John Wiley & Sons, Inc. USA. 515p
- FARIAS, E. 1994. Física de suelos con enfoque Agrícola. Editorial Trillas. México. 174 p.
- FOTH, D. H. 1997. Soil fertility. C. P. C. Press, Inc. USA. 283p.
- HENRIQUEZ, C., BERSTSCH, F., Y SALAS, R. 1995. Fertilidad de suelos manual de laboratorio. Asociación costaricense de la ciencia del suelo. Costa Rica. 62p.
- HYNES, J.R. 1986. Mineral nitrogen in the plant soil system. Academic Press. USA. 466p.
- KASS, D. 1997. Fertilidad de suelos. Editorial universidad estatal a distancia. Costa Rica 230p
- MALAVOLTA, E. 1985. Desordenes nutricionales. Primera edición, INPOFOS. México. 136p.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. Institute of Plant Nutrition, University of Hohenheim. Germany. 889p.

- MILLAR, C.E. , TURK, L. M. FOTH, H. D. 1962. Edafología, Fundamentos de las ciencias del suelo. Compañía Editorial Continental. México 612p.
- MORVEDT, J. J. 1983. Micronutrients in agriculture. Soils science society of América. USA. 349p.
- PRASSAD, R. Y POWER, J. F. 1997. Soil fertility, management for sustainable soil fertility. C. R. C. Press, Inc. USA 347p.
- SANCHEZ, P.A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José Costa Rica. 633p
- TEUSCHER Y ADLER, 1965. El suelo y su fertilidad, Reinhold publishing corporation primera edición en español,. USA 510p